

W03 p 004 19



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 195 47 496 A 1**

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**F 02 D 41/18**  
G 01 F 1/76  
G 05 B 13/02

21 Aktenzeichen: 195 47 496.1  
22 Anmeldetag: 19. 12. 95  
43 Offenlegungstag: 3. 7. 97

DE 195 47 496 A 1

<p>71 Anmelder: Schröder, Dierk, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. h.c., 80333 München, DE</p> <p>74 Vertreter: Lenz, U., Dipl.-Ing., 80333 München</p>	<p>72 Erfinder: Erfinder wird später genannt werden</p> <p>56 Entgegenhaltungen:</p> <table><tr><td>DE</td><td>39 40 385 A1</td></tr><tr><td>US</td><td>40 10 717</td></tr><tr><td>EP</td><td>02 48 535 A2</td></tr></table>	DE	39 40 385 A1	US	40 10 717	EP	02 48 535 A2
DE	39 40 385 A1						
US	40 10 717						
EP	02 48 535 A2						

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt  
Der Inhalt dieser Schrift weicht von den am Anmeldetag eingereichten Unterlagen ab

- 54 Verfahren zur Regelung von Verbrennungsmotoren
- 57 Ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung zur exakten Bestimmung der in die Zylinder eines Verbrennungsmotors eingesaugten Luftmasse als Grundlage für die Zumessung der Kraftstoffmasse zeichnet sich dadurch aus, daß ein (lernfähiger) Beobachter sowohl im stationären als auch dynamischen Betrieb des Motors eine korrekte Schätzgröße liefert. Das vorgestellte Verfahren kann prinzipiell zur Schätzung von Größen angewendet werden, die in linearer oder nichtlinearer Weise von einem oder mehreren Prozeßzuständen innerhalb eines Prozesses abhängen.

DE 195 47 496 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf Verfahren zur Regelung von Verbrennungsmotoren, indem beispielsweise eine Echtzeit-Schätzung der Luftmasse in den Zylindern eines Verbrennungsmotors als Basis für die Zumessung des Kraftstoffs genutzt wird. Echtzeit-Schätzung bedeutet hierbei, daß eine nicht meßbare Größe ausschließlich anhand vergangener oder gleichzeitiger Meßwerte anderer Größen bestimmt wird, so daß der Schätzwert gleichzeitig zum realen Wert erhalten wird.

In der Praxis ist die in die Brennräume eingesaugte Luftmasse mit vertretbarem Aufwand nicht meßbar, muß aber bekannt sein, um eine richtige Zumessung des Kraftstoffs zu ermöglichen, damit durch entsprechende Einstellung der Luftzahl  $\lambda$  ein gewünschtes Betriebsverhalten des Verbrennungsmotors erreicht wird.

Durch die Echtzeit-Schätzung der Luftmasse in den Zylindern eines Verbrennungsmotors, die sowohl statische als auch dynamische Betriebszustände einschließt, wird beispielsweise ein verlässlicher Vorgabewert für die Kraftstoffeinspritzung erhalten.

Mit den vorgeschlagenen Verfahren kann nach neuartiger Weise die Luftmasse in den Brennräumen bestimmt werden, um sowohl im statischen als auch im dynamischen Betrieb des Verbrennungsmotors das gewünschte Gemischverhältnis sicherzustellen.

Als Beispiel wird hier der Ottomotor gewählt. Ähnliches gilt sinngemäß für den Dieselmotor oder andere Verbrennungseinrichtungen.

Bei einem Ottomotor tritt an der Drosselstelle ein meßbarer Luftmassenstrom  $\dot{m}_{in}$  in das Saugrohr ein, aus welchem die Zylinder während der einzelnen Ansaugtakte der Zylinder den nicht direkt meßbaren Luftmassenstrom  $\dot{m}_{out}$  (Last) absaugen. Infolge des Speicherverhaltens des endlichen Saugrohrvolumens kann der meßbare Luftmassenstrom an der Drosselstelle in das Saugrohr  $\dot{m}_{in}$  nur stationär gleich dem angesaugtem Luftmassenstrom  $\dot{m}_{out}$  sein. Der stationäre Betrieb eines Ottomotors in Kraftfahrzeugen ist jedoch die Ausnahme.

Die Erfindung ermöglicht die dynamische und stationäre Schätzung des nicht direkt meßbaren in die Brennräume eingesaugten Luftmassenstromes  $\dot{m}_{out}$ . Durch Integration dieses Luftmassenstromes über die Zeit der Ansaugtakte der einzelnen Zylinder läßt sich die in den einzelnen Zylindern befindliche Luftmasse bestimmen, so daß Kraftstoff in das gewünschte Betriebsverhalten sicherstellenden Weise zugemessen werden kann. Die Schätzung des Luftmassenstromes (Lastschätzung) erfolgt in Echtzeit, also während des Betriebes des Motors, und ist unabhängig von Exemplarstreuungen und Alterungseinflüssen.

Meßgrößen: Zur Schätzung werden der Luftmassenstrom an der Drosselstelle in das Saugrohr  $\dot{m}_{in}$  und die thermodynamischen Zustände Druck  $p$  und Temperatur  $T$  im Saugrohr durchgeführt, sowie eventuell die Motordrehzahl  $n$  benötigt, oder gegebenenfalls die Drosselklappenstellung. Als Geometriegrößen müssen lediglich das Saugrohrvolumen und eventuell der Gesamthohlraum  $D$  bekannt sein. Die vorgestellten Verfahren zur Schätzung der Luftmassen in den Zylindern können auf andere Aufgabenstellungen wie beispielsweise bei der Drosselklappenregelung zur Schätzung der nichtlinearen Einflüsse bei einer durch einen Servoantrieb bewegten Drosselklappe oder zur Schätzung der in den Zylinder gelangenden Kraftstoffmengen übertragen werden. Ebenso können bei einem elektromechanischen Ventiltrieb bei Verbrennungsmotoren oder beispielsweise bei

einem automatisiert zu schaltendem Getriebe dieses Verfahren zur Schätzung nichtlinearer Einflüsse wie Reibung verwendet werden.

#### Wertung des Standes der Technik (Beispiel: Luftmassenschätzung in den Zylindern)

In Motorsteuergeräten des Standes der Technik wird bei Ottomotoren entweder die Massenflußmethode oder die Drehzahl-Dicht-Methode zur Schätzung des angesaugten Luftmassenstromes angewendet. Bei der Massenflußmethode wird der (evtl. nichtlinear gefilterte) Luftmassenstrom in das Saugrohr  $\dot{m}_{in}$  als Schätzwert für die tatsächliche Last verwendet, der infolge des Saugrohr-Speicherverhaltens jedoch nur stationär eine korrekte Schätzung ermöglicht; dies ist somit bei dynamischen Betriebszuständen nicht geeignet. Bei Verwendung eines off-line bestimmten evtl. nichtlinearen Filters zur Korrektur des Speicherverhaltens wird durch die Exemplarstreuung und/oder Parameterdrift eine dynamisch korrekte Schätzung erschwert bzw. verhindert. Infolge des Speicherverhaltens treten bei dieser Methode im dynamischen Betrieb starke Abweichungen des geschätzten Luftmassenstromes vom tatsächlich in die Zylinder gelangendem Luftmassenstrom auf.

Die Drehzahl-Dicht-Methode nutzt dagegen die Abhängigkeit der Last von der das Saugverhalten eines Motors beschreibenden volumetrischen Effizienz, einem Wirkungsgrad, welcher von der Drehzahl und den thermodynamischen Zuständen im Saugrohr abhängt. Diese Abhängigkeit wird üblicherweise off-line bestimmt, und im Steuergerät als Kennfeld abgelegt, woraus sich die gleichen Probleme hinsichtlich Exemplarstreuung und Parameterdrift ergeben wie bei der Massenflußmethode. Bei dieser Methode wird durch das Speicherverhalten des Saugrohres zwar kein dynamischer Fehler erzeugt, jedoch hängt die Güte von der exakten Kenntnis der volumetrischen Effizienz ab.

Gemeinsam ist beiden Verfahren, daß die Last entweder nur im dynamischen oder sowohl im stationären als auch im dynamischen Betrieb prinzipiell nicht korrekt geschätzt werden kann. Für eine bestmögliche Konvertierung der Schadstoffe  $\text{NO}_x$ , HC und CO in einem Dreiweg-Katalysator ist jedoch das stöchiometrische Gemischverhältnis über den gesamten Betriebsbereich eines Ottomotors nötig, so daß ein Verfahren zur korrekten Schätzung der Luftmasse in den Zylindern (Lastschätzung) erforderlich ist.

#### Darstellung des anmeldungsgemäßen Verfahrens und Vorrichtungen zu dessen Durchführung

Die beiden folgenden Verfahren zur Lastschätzung stellen eine einmalige Kombination der beiden oben genannten bekannten Verfahren dar, die nun sowohl im stationären als auch im dynamischen Betrieb eine korrekte Schätzgröße liefern und das Beobachterprinzip benutzen.

Zur korrekten Schätzung der Luftmasse in den Zylindern im dynamischen Betrieb ist das Speicherverhalten des endlichen Volumens des Saugrohres zu berücksichtigen.

Dies geschieht wie folgt: Zur Schätzung des angesaugten Luftmassenstromes wird die Massenbilanzgleichung ausgenutzt

$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \dot{m} \quad (1),$$

dies besagt, daß die Differenz der ein- und ausströmenden Massenströme eines Volumens die Zeitableitung der in diesem Volumen befindlichen Masse  $\dot{m}$  darstellt. Betrachtet werden hier Luftmassenströme, so daß über die Zustandsgleichung des idealen Gases

$$pV = mRT \quad (2)$$

diese Luftmasse zusammen mit der Temperatur  $T$  innerhalb des Saugrohres den Druck in diesem bestimmt.

Wird dabei die Druckänderung infolge der Temperaturänderung vernachlässigt, was bei der Betrachtung, eines Ottomotor-Saugrohres infolge der langsamen Gradienten zulässig ist (die partielle Ableitung  $\frac{dT}{dt}$  kann vernachlässigt werden), so stellt die Änderung des Saugrohrdrucks ein Maß für die Differenz der Luftmassenströme dar, wie durch Differentiation von Gleichung (2) nach der Zeit

$$\frac{d}{dt}m = \frac{d}{dt}p \frac{V}{RT} \quad (3)$$

gezeigt wird. Soll die Druckänderung infolge der Temperaturänderung nicht vernachlässigt werden, so muß zusätzlich noch ein Korrekturterm berücksichtigt werden, der sich aus den Differentiationsregeln ergibt:

$$\frac{d}{dt}m = \frac{d}{dt}p \frac{V}{RT} - \frac{d}{dt}T \frac{pV}{RT^2} \quad (4)$$

Dieser physikalische Zusammenhang läßt sich für zwei prinzipiell unterschiedliche Ansätze zur Schätzung anwenden, welche im folgenden dargestellt sind. Zur Verifikation sind jeweils Simulationsergebnisse eingebunden, die validiert wurden.

#### Lastschätzung durch Differentiation des Saugrohrdruckes

Das erste Verfahren basiert auf der Differentiation des Saugrohrdruckes. Aus der Beziehung (2) ergibt sich bei Differentiation nach der Zeit ein Schätzwert für den Luftmassenstrom  $\dot{m}_{out}$  in die Zylinder bei Vernachlässigung der langsamen und relativ geringen Temperaturänderung

$$\dot{m}_{out} = \dot{m}_{in} - \dot{p} \frac{V}{RT} \quad (5)$$

Dieser Ansatz ist in Fig. 2 im Signalfußplan dargestellt. Soll die Zeitableitung der Saugrohrtemperatur nicht vernachlässigt werden, so ist nach Gleichung (4) vorzugehen, es ergibt sich dann der Signalfußplan nach Fig. 3.

Zur Schätzung des Luftmassenstromes in die Zylinder mit diesem Ansatz ist es nötig, den in das Saugrohrvolumen eintretenden Luftmassenstrom  $\dot{m}_{in}$ , den Saugrohrdruck  $p$  und die Temperatur  $T$  im Saugrohr zu messen. In Fig. 4 ist das mittels dieses Differentiationsansatzes online erhaltene Beobachterergebnis dargestellt, gestrichelt der Luftmassenstrom am Saugrohreningang, durchgezogen der Luftmassenstrom in die Zylinder und ge-

punktet der beobachtete Luftmassenstrom in die Zylinder. Die gepunktete Linie ist in dieser Skalierung nahezu deckungsgleich mit der durchgezogenen Linie, das heißt, der Luftmassenstrom in die Zylinder wird sehr gut geschätzt, davon ausgehend, daß das Drucksignal rauschfrei vorliegt.

Zur technischen Realisierung ist eine Rechenvorschrift in einem Motorsteuergerät zu implementieren, welches damit die Meßgrößen Saugrohrdruck und Luftmassenstrom in das Saugrohr verarbeitet. Der Schätzwert für den Luftmassenstrom in die Zylinder wird dabei wie folgt erhalten:

- der Saugrohrdruck  $p$  wird differenziert
- der mit dem Verhältnis  $\frac{V}{R}$  gewichtete Quotient aus differenziertem Saugrohrdruck und Saugrohrtemperatur wird von dem ins Saugrohr einströmenden Luftmassenstrom  $\dot{m}_{in}$  subtrahiert
- diese Differenz stellt den Schätzwert für den Luftmassenstrom in die Zylinder  $\hat{m}_{out}$  dar

Dieses Vorgehen ist im Signalfußplan Fig. 2 dargestellt. Soll die Zeitableitung der Saugrohrtemperatur  $T$  nicht vernachlässigt werden, so ist zu dem eben erhaltenen Schätzwert noch ein Korrekturterm  $korr$  zu addieren, der sich aus

$$korr = \dot{T} \frac{pV}{RT^2} \quad (6)$$

berechnet. Dieses Vorgehen ist im Signalfußplan Fig. 3 dargestellt.

Der erhaltene Schätzwert für den Luftmassenstrom muß über die Zeit des Einlaßtaktes jeden einzelnen Zylinders integriert werden, um die Luftmasse in den jeweiligen Zylindern zu erhalten. Wenn die Änderung der Temperatur mit berücksichtigt werden soll, ist die technische Realisierung entsprechend dem Signalfußplan Fig. 3 durchzuführen. Ansonsten gelten die obigen Anmerkungen.

Das erste Verfahren verwendet als Meßgröße die Zeitableitung des Saugrohrdruckes  $p$ , dies ist aufgrund des Meßrauschens problematisch. Im folgenden wird deshalb ein zweites Verfahren beschrieben, welches eine korrekte Schätzung des Luftmassenstromes in die Zylinder ohne Differentiation erlaubt.

Dazu wird ein Beobachter entworfen, der es ermöglicht, vom Saugrohrdruck  $p$  über eine Parameteradaption auf den Luftmassenstrom zu schließen.

Schätzung des Luftmassenstromes in die Zylinder durch Beobachteransatz "Volumetrische Effizienz"

Die Differentiation des Saugrohrdruckes kann umgangen werden, indem ein spezieller Beobachteransatz gewählt wird. Wiederum wird von der Massenbilanzgleichung (1) ausgegangen. Als Beispiel für einen möglichen Beobachteransatz soll die aus dem Saugrohr abgesaugte Luftmasse als Störgröße aufgefaßt werden, welche den Druckaufbau im Inneren des Saugrohres stört. Ausgehend von diesem Ansatz läßt sich ein Störgrößenbeobachter entwerfen, wenn gleichzeitig die Abhängigkeit des vom Motor angesaugten Luftmassenstromes vom Saugrohrdruck und der Drehzahl berücksichtigt wird. Diese Abhängigkeit wird als "volumetrische Effizienz" bezeichnet und beschreibt das Saugverhalten des

Motors in den erwähnten Abhängigkeiten als dimensionslosen Wirkungsgrad zwischen null und eins. Zusammengefaßt in dieser volumetrischen Effizienz sind Einflüsse wie akustische Resonanzen, choked-flow-Effekt an den Einlaßventilen und Ventilüberschneidungen etc. Die volumetrische Effizienz ist maßgeblich Ursache für den buckelförmigen Drehmoment-Drehzahl-Verlauf bei Verbrennungsmotoren. Bei der Betrachtung von Motoren mit variablen Ventilsteuerzeiten tritt zusätzlich noch eine Abhängigkeit der volumetrischen Effizienz vom Phasenwinkel der Steuerzeiten auf. Mittels der volumetrischen Effizienz  $\eta_{vol}$  kann der vom Motor angesaugte Luftmassenstrom nach der Drehzahl-Dichte-Methode wie folgt ermittelt werden (halbe Drehzahl wegen des hier angenommenen Viertaktverfahrens):

$$\dot{m}_{out} = \eta_{vol} \frac{n}{2} p \frac{D}{RT} \quad (7)$$

Mit dieser Kenntnis kann der Signallaßplan für das Saugrohr zusammen mit den saugenden Zylinder wie in Fig. 5 gezeichnet werden. Auch hier ist die Zeitableitung der Saugrohrtemperatur vernachlässigt, soll sie berücksichtigt werden, so ist gemäß Gleichung (4) vorzugehen.

In der Beziehung (7) sind die Größen  $n$ ,  $p$  und  $T$  meßbar, die Volumina  $D$  (Hubraum) und  $V$  bekannt und konstant, ebenso die Gaskonstante  $R$ . Die volumetrische Effizienz ist unbekannt.

Ziel muß es daher sein, einen adaptiven Störgrößenbeobachter zu entwerfen, der diese volumetrische Effizienz korrekt lernt und dadurch die Last korrekt schätzen kann.

#### Einfacher Beobachteransatz

In Fig. 6 ist als Beispiel eines möglichen Beobachteransatzes ein nichtlinearer Störgrößenbeobachter dargestellt, welcher im Echtzeit-Betrieb das aktuelle  $\eta_{vol}$  lernt und somit einen korrekten Schätzwert für die den angesaugten Luftmassenstrom  $\dot{m}_{out}$  liefert. Dazu wird ein Adaptionsintegrator verwendet, dessen Ausgang das jeweilige  $\eta_{vol}$  nachbildet, die Adaption erfolgt über den Beobachterfehler. Es ist dies der "einfache" Beobachteransatz, weil im Gegensatz zum nachfolgend beschriebenen Beobachteransatz auf die Verwendung Künstlicher Intelligenz noch verzichtet wird.

Die Stabilität kann bei diesem Ansatz mittels linearer Methoden nachgewiesen werden, wenn die Meßgrößen Drehzahl  $n$  und Temperatur im Saugrohr  $T$  als konstant angesetzt werden. In der Fig. 7 ist das Beobachterergebnis dargestellt, der geschätzte Luftmassenstrom ist in dieser Skalierung beinahe deckungsgleich mit dem tatsächlichen Luftmassenstrom in die Zylinder.

Zur technischen Realisierung ist eine Beobachter-Rechenvorschrift, etwa gemäß Signallaßplan Fig. 6, in einem Motorsteuergerät zu implementieren, welches damit die Größen Saugrohrdruck und -temperatur, Luftmassenstrom ins Saugrohr und Motordrehzahl verarbeitet.

Eine mögliche Rechenvorschrift kann dabei den Schätzwert für den Luftmassenstrom  $\hat{\dot{m}}_{out}$  wie folgt bestimmen:

— die Realität "Saugrohr" wird im Beobachter als Parallelmodell dargestellt

— die reale Aufintegration der mit dem Faktor  $\frac{RT}{V}$  gewichteten Luftmassenstromdifferenz wird durch ein Verzögerungsglied erster Ordnung  $\frac{1}{s + \lambda}$  nachgebildet, dessen Ausgang den Verlauf des Saugrohrdruckes nachbildet

— durch die zusätzliche Aufschaltung des mit dem durch den Faktor  $\frac{V}{RT} \lambda \frac{RT}{V}$  gewichteten Saugrohrdruckes auf den Eingang dieses Verzögerungsgliedes wird erreicht, daß das Verzögerungsglied bei der Übereinstimmung von geschätztem und realem Saugrohrdruck das reale integrierende Verhalten nachbildet, dies ist in Fig. 8 verdeutlicht

— der Fehler zwischen den Verläufen des realen und geschätzten Saugrohrdruckes entsteht durch die nicht übereinstimmenden Luftmassenstromdifferenzen, das heißt durch den nicht korrekten Schätzwert für den in die Zylinder strömenden Luftmassenstrom  $\hat{\dot{m}}_{out}$ , da ja der Eingangswert  $\dot{m}_{in}$  für Realität und Beobachter gleich ist

— der in die Zylinder strömende Luftmassenstrom  $\dot{m}_{out}$  hängt dabei nach der Beziehung 7 von Drehzahl und Dichte über die sogenannte volumetrische Effizienz  $\eta_{vol}$  ab, deren arbeitspunktabhängiger Einfluß im Beobachter durch eine Multiplikation mit einem Integratorausgang nachgebildet werden kann

— der Eingang dieses Integrators wird über eine Lernschrittweite  $v$ , mit dem Beobachterfehler zwischen realem und geschätztem Saugrohrdruck so beaufschlagt, daß die dadurch erfolgende Adaption den Beobachterfehler zu null macht (regelungstechnische Stabilität des Beobachters)

— ist der Beobachterfehler zwischen realem und geschätztem Saugrohrdruck null, so wirkt das Verzögerungsglied durch die Beaufschlagung seines

Einganges mit dem durch den Faktor  $\lambda \frac{R}{V} \frac{1}{T}$  gewichteten Saugrohrdruck wie ein Integrator mit der Luftmassenstromdifferenz als einzigem Eingang, siehe dazu Fig. 8

— damit ist die Beobachterstruktur gleich der Realität, was bedeutet, daß bei übereinstimmender Streckenstruktur und übereinstimmenden Streckenausgängen (Saugrohrdruck und Schätzwert dafür) auch die Streckeneingänge (Differenz der Luftmassenströme) gleich sind

— da die Differenz der Luftmassenströme des Beobachters aus gemessenem  $\dot{m}_{in}$  und geschätztem  $\hat{\dot{m}}_{out}$  gebildet wird, ist der geschätzte Luftmassenstrom  $\hat{\dot{m}}_{out}$  somit gleich dem realen Luftmassenstrom in die Zylinder  $\dot{m}_{out}$ .

Der erhaltene Schätzwert für den Luftmassenstrom muß über die Zeit des Einlaßtaktes jeden einzelnen Zylinder integriert werden, um die Luftmasse in den jeweiligen Zylindern zu erhalten.

Nachteilig bei diesem Beobachteransatz ist das Vergessen gelerntes Wissens, da bei Betrieb in einem anderen Arbeitspunkt der durch den Integrator-Ausgang nachgebildete Parameter  $\eta_{vol}$  des alten Arbeitspunktes wieder vergessen wird. Dies hat zur Folge, daß immer ein Fehler durch das Nachlernen des Beobachters bei Arbeitspunktverschiebungen entstehen wird.

Dies kann vermieden werden, wenn die Ergebnisse der Lernvorgänge im Kennfeld gespeichert werden.

Ein anderer Ansatz, der ebenso die gelernten Ergebnisse im Kennfeld festhält, kann durch die Verfahren der künstlichen Intelligenz erreicht werden; dies ist als drittes Verfahren — mit der zugehörigen Einrichtung — im folgenden Kapitel dargestellt.

#### Beobachteransatz mit Neuronalem Netz

Ziel bei diesem Beobachteransatz ist die Schätzung des Luftmassenstromes in die Zylinder durch Lernen der volumetrischen Effizienz des Motors mittels Verfahren der künstlichen Intelligenz. Dies stellt die Grundlage zur Prädiktion des Luftmassenstromes dar.

Dazu kann beispielsweise ein Neuronales Netz angesetzt werden, das als Eingangsdimension alle Größen besitzt, von welchen die volumetrische Effizienz abhängt (Saugrohrdruck, Drehzahl, evtl. Ventilsteuerzeiten ...). Anstelle eines Neuronalen Netzes kann aber auch jeder adaptive Ansatz verwendet werden, der es erlaubt, eine statische Nichtlinearität über einem ein- oder mehrdimensionalen Eingangsraum darzustellen.

Hier wird als Beispiel ein General Regression Neural Neural Network verwendet. Dieses, im folgenden als GRNN bezeichnete Neuronale Netz wird dazu verwendet, im vorstehend beschriebenen Beobachteransatz den Einfluß der realen volumetrischen Effizienz zu erlernen und als Wissen zur Verfügung zu stellen. Zum besseren Verständnis soll ganz kurz die Wirkungsweise dieses speziellen Neuronalen Netzes erläutert werden: Der (mehrdimensionale) Eingangsraum ist in rezeptive Felder vieler Neuronen aufgeteilt. Diese Neuronen werden in Abhängigkeit der Entfernung des Eingangszustandes des GRNN verschieden mehr oder weniger aktiviert und tragen dann durch ihr jeweiliges Gewicht entsprechend ihrer Aktivierung zum Ausgangswert des GRNN bei diesem Eingangszustand bei. Die Neuronen stellen dabei Integratoren dar, welche in ihrer Wirkung hauptsächlich innerhalb ihres rezeptiven Feldes wirken. Dies bedeutet, daß bei Verwendung eines GRNN der im vorstehend beschriebenen Ansatz Adaptionintegrator durch viele stückweise wirkende Integratoren ersetzt wird. Prinzipiell kann jedoch jeder andere adaptive Ansatz verwendet werden, der es erlaubt, eine statische Nichtlinearität über einem ein- oder mehrdimensionalen Eingangsraum darzustellen.

Der um das GRNN erweiterte Signallaßplan im Laplacebereich ist in Fig. 9 dargestellt. Die prinzipielle Funktion dieses Beobachteransatzes mittels GRNN kann beispielsweise durch das in Az: 195 31 9624 beschriebene Verfahren und die zugehörige Einrichtung realisiert werden. Im vorliegenden Fall kann bei nicht vernachlässigbarer Meßdynamik beim Saugrohrdruck die strictly positive real-Bedingung, die in Az: 195 31 9624 noch genannt wurde, durch eine spezielle Struktur des Neuronalen Netzes umgangen werden. Diese spezielle Struktur eines Neuronalen Netzes ist dadurch gekennzeichnet, daß das Netz interne Dynamik besitzt, also mehrere Zustände neben den Gewichtsintegratoren aufweist, um eine korrekte Korrelation zwischen Fehlersignal und dem das Fehlersignal erzeugenden Netzeingang sicherzustellen.

Das Beobachterergebnis dieses Ansatzes unter Verwendung künstlicher Intelligenz ist in der Fig. 10 dargestellt, das Lernen beginnt bei Zeit  $t = 0$  ohne Vorwissen. In dieser Figur ist der Einschwingvorgang des Beobachters, ein normaler Vorgang bei allen Beobachtungen, zu erkennen. Dieses Schwingen entsteht durch den Lernvorgang in ständig neuen Betriebspunkten in der Dreh-

zahl-Saugrohrdruck-Phasenebene, über der ja die volumetrische Effizienz gelernt wird. Nach dem Lernvorgang wird das Beobachterergebnis deckungsgleich mit dem zu schätzenden Luftmassenstrom sein.

Zur technischen Realisierung ist eine Beobachter-Rechenvorschrift, etwa gemäß Signallaßplan Fig. 9, in einem Motorsteuergerät zu implementieren, welches damit die Größen Saugrohrdruck und -temperatur, Luftmassenstrom ins Saugrohr und Motordrehzahl verarbeitet. Eine mögliche Rechenvorschrift kann dabei mittels einem Neuronalen Netz spezieller, Struktur (hier General Regression Neural Network) den Schätzwert für den Luftmassenstrom  $\hat{m}_{out}$  wie folgt bestimmen:

— die Realität "Saugrohr" wird im Beobachter als Parallelmodell dargestellt

— die reale Aufintegration der mit dem Faktor  $\frac{RT}{V}$  gewichteten Luftmassenstromdifferenz wird durch ein Verzögerungsglied erster Ordnung  $\frac{1}{s + \lambda}$  nachgebildet, dessen Ausgang den Verlauf des Saugrohrdruckes nachbildet

— durch die zusätzliche Aufschaltung des mit dem durch den Faktor  $\frac{V}{RT} \lambda \frac{RT}{V}$  gewichteten Saugrohrdruckes auf den Eingang dieses Verzögerungsgliedes wird erreicht, daß das Verzögerungsglied bei der Übereinstimmung von geschätztem und realem Saugrohrdruck das reale integrierende Verhalten nachbildet, dies ist in Fig. 11 verdeutlicht

— der Fehler zwischen den Verläufen des realen und geschätzten Saugrohrdruckes entsteht durch die nicht übereinstimmenden Luftmassenstromdifferenzen, das heißt durch den nicht korrekten Schätzwert für den in die Zylinder strömenden Luftmassenstrom  $\hat{m}_{in}$ , da ja der Eingangswert  $\hat{m}_{in}$  für Realität und Beobachter gleich ist

— der in die Zylinder strömende Luftmassenstrom  $\hat{m}_{out}$  hängt dabei nach der Beziehung 7 von Drehzahl und Dichte über die sogenannte volumetrische Effizienz  $\eta_{vol}$  ab, deren nichtlineare Abhängigkeit von den Größen Drehzahl und Saugrohrdruck im Beobachter durch eine Multiplikation mit dem Ausgang eines Neuronalen Netzes mit diesen beiden Eingängen nachgebildet werden kann

— die Gewichte der Neuronen dieses Neuronalen Netzes werden dabei mit einer Lernschrittweite  $v$  durch den Beobachterfehler entsprechend der Aktivierung der einzelnen Neuronen an den verschiedenen Arbeitspunkten so verstellt, daß die dadurch erfolgende Adaption den Beobachterfehler zu null macht (regelungstechnische Stabilität des Beobachters)

— ist der Beobachterfehler zwischen realem und geschätztem Saugrohrdruck null, so wirkt das Verzögerungsglied durch die Beaufschlagung seines Einganges mit dem durch den Faktor  $\lambda \frac{R}{V} \frac{1}{T}$  gewichteten Saugrohrdruck wie ein Integrator mit der Luftmassenstromdifferenz als einzigem Eingang, siehe dazu Fig. 8

— damit ist die Beobachterstruktur gleich der Realität, was bedeutet, daß bei übereinstimmender Streckenstruktur und übereinstimmenden Streckenausgängen (Saugrohrdruck und Schätzwert dafür) auch die Streckeneingänge (Differenz der Luftmassenströme) gleich sind

— da die Differenz der Luftmassenströme des Beobachters aus gemessenem  $\dot{m}_{in}$  und geschätztem  $\dot{m}_{out}$  gebildet wird, ist der geschätzte Luftmassenstrom  $\dot{m}_{out}$  somit gleich dem realen Luftmassenstrom in die Zylinder  $\dot{m}_{out}$ .

Der erhaltene Schätzwert für den Luftmassenstrom muß über die Zeit des Einlaßtaktes jeden einzelnen Zylinders integriert werden, um die Luftmasse in den jeweiligen Zylindern zu erhalten. Bei beeinflussbaren Ventilsteuerzeiten (VANOS, anderer Ventiltrieb als über eine Nockenwelle) muß diese Kenntnis ebenfalls verwendet werden, etwa als zusätzliche Eingangsdimension im Neuronalen Netz.

#### Luftmassenstrom-Prädiktion

Der vorgestellte Ansatz eines lernfähigen Beobachters bietet die Grundlage zur Prädiktion des Luftmassenstromes in die Zylinder, das heißt, es ist möglich, allein von den Saugrohrzuständen Druck und Temperatur zusammen mit der Drehzahl (evtl. Phasenwinkel der Einlaßventile) auf den Luftmassenstrom zu schließen. Dies sei in der Fig. 12 dargestellt, die allein auf der Basis des vorher gelernten Wissens die Last schätzt, ohne den ins Saugrohr einströmenden Luftmassenstrom zu kennen. Bei diesem Vorgehen kann der Signalflußplan nach Abb. 8 beispielsweise so vereinfacht werden, daß die Größen Druck  $p$ , Temperatur  $T$  und Drehzahl  $n$  gemessen werden, die nichtlinearen Kennlinienfelder, die vom GRNN gelernt werden, vorliegen und als Kennlinienfelder fest implementiert sind. Dadurch kann der Aufwand der Realisierung erheblich verringert werden.

Dieser Sachverhalt kann dazu verwendet werden, die Luftmasse in den Zylindern zu präzisieren, indem vom Drosselklappen-Lagewinkel auf die ins Saugrohr strömende Luftmasse in Abhängigkeit der thermodynamischen Zustände in nächster Zukunft geschlossen wird, damit der Saugrohrzustand vorhergesagt wird, von dem dann auf die Last in nächster Zukunft geschlossen werden kann.

#### Luftmassenstrom-Regelung

Die vorgestellten Ansätze von Beobachtern bieten die Grundlage zur Regelung des Luftmassenstromes in die Zylinder. Nach dem Lernen beispielsweise des nichtlinearen Pumpverhaltens der Zylinder  $\eta_{vol}$  steht diese Information zur Verfügung, um den Sollwert des Saugrohrdruckes vorzugeben, durch den ein gewünschter Luftmassenstrom in die Zylinder bei vorgegebener Drehzahl erreicht werden kann. Somit kann über eine Saugrohrdruck-Regelung gezielt die Luftmasse in den Brennräumen eingestellt werden.

#### Weitere Anwendungsbeispiele

Wie bereits in Kapitel 1 angemerkt wurde, können die beschriebenen Verfahren und Einrichtungen auch auf andere Aufgabenstellungen beim Verbrennungsmotor oder anderen technischen Einrichtungen übertragen werden.

Wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben, erfolgte in den Beobachtern bei der Anwendung auf das Saugrohr eines Verbrennungsmotors eine Lastschätzung. Das Ergebnis der Lastschätzung kann beispielsweise als Sollwert oder als Störgröße interpretiert werden. Je nach Interpretation kann die Information in der Motor-

steuerung weiterverarbeitet werden. Wenn beispielsweise die Lastschätzung als Störgröße in einem Prozeß interpretiert wird, dann kann nach dem Stand der Technik die Störgröße durch eine Störgrößen-Aufschaltung unterdrückt werden. In gleicher Weise können nach dem Stand der Technik unerwünschte Einwirkungen als Störgrößen interpretiert werden.

Diese Sichtweise gestattet die Anwendung des anmeldungsgemäßen Verfahrens auf eine Vielzahl technischer Einrichtungen, bei denen nichtlineare Rückwirkungen innerhalb des betrachteten Prozesses identifiziert beziehungsweise kompensiert werden sollen.

Wenn in Erweiterung der oben beschriebenen Verfahren die Regelung der Drosselklappenstellung behandelt wird, dann ist bekannt, daß die Regelung der Drosselklappenstellung aufgrund nichtlinearer Rückwirkungen schwer zu realisieren ist. Der Grund für die Schwierigkeit sind nichtlineare Effekte wie die nichtlineare Federkonstante, die Reibungseffekte und die Momente an der Drosselklappe durch den Luftstrom in das Saugrohr. Wenn der Einfluß dieser Effekte geschätzt werden könnte und das resultierende Signal dieser Effekte zur Störgrößen-Aufschaltung verwendet wird, dann verbleibt eine einfach zu regelnde Strecke. Das Ziel muß daher sein, die Effekte in der sich auswirkenden Summe zu schätzen.

Ausgehend von diesem Gedanken, können wieder geeignete Beobachter entworfen werden, um die Einwirkung zu schätzen. Als universeller Beobachter — d. h. Beobachter für lineare, nichtlineare und mehrdimensionale Zusammenhänge — eignet sich eine Struktur mit künstlicher Intelligenz, wie beispielsweise mit General Regression Neural Network in Fig. 8. Mittels dem GRNN-Ansatz wurde in Fig. 8 die volumetrische Effizienz  $\eta_{vol}$  geschätzt. In gleicher Weise ist eine Schätzung der unerwünschten Einflüsse und anschließender Störgrößen-Aufschaltung bei der Drosselklappe möglich. In einer weiteren Anwendung — dem Kraftstoffpfad — kann in gleicher Weise bei Saugrohreinjection der Kraftstoffs der in die Zylinder gelangende Kraftstoff geschätzt werden.

Aus dem Sektor Kraftfahrzeugtechnik sollen auch noch die Anwendungsmöglichkeiten auf einen elektromechanischen Ventiltrieb und ein automatisiert zu schaltendes Getriebe genannt werden.

#### Figurenverzeichnis

- 1 Schematische Darstellung des Saugrohrs eines Ottomotors,
- 2 Darstellung des ersten beschriebenen Ansatzes zur Schätzung des Luftmassenstromes in die Zylinder im Signalflußplan. Benötigt wird die Zeitableitung des Saugrohrdruckes  $p$ ,
- 3 Darstellung des ersten beschriebenen Ansatzes zur Schätzung des Luftmassenstromes in die Zylinder mit Berücksichtigung der Zeitableitung der Saugrohrtemperatur,
- 4 Ergebnis mit dem obenstehend beschriebenen Differenzierungsansatz, Ausschnitt, gestrichelt der Luftmassenstrom am Saugrohreingang, durchgezogen der Luftmassenstrom in die Zylinder und gepunktet der beobachtete Luftmassenstrom in die Zylinder,
- 5 Signalflußplan des Luftpfades im Frequenzbereich mit Saugrohr und Zylindern,
- 6 Signalflußplan eines möglichen nichtlinearen Beobachteransatzes zur Lastschätzung. Der unbekannte Parameter  $\eta_{vol}$  abhängig von Saugrohrdruck und Dreh-

zahl, wird in allen Arbeitspunkten des Motors durch einen einzigen Integrator nachgebildet. Durch die Parameter  $\lambda$  und  $v$  im Beobachterkreis läßt sich die Beobachterdynamik einstellen,

7 Ergebnis mit dem obenstehend beschriebenen einfachen Beobachteransatz, Ausschnitt, gestrichelt der Luftmassenstrom am Saugrohreingang, durchgezogen der Luftmassenstrom in die Zylinder und gepunktet der beobachtete Luftmassenstrom in die Zylinder. Auch hier sind die durchgezogene und gepunktete Linie beinahe deckungsgleich, also erfolgt eine korrekte Schätzung. Vorteilhaft bei diesem Ansatz im Vergleich zum vorstehenden Ansatz ist, daß kein Meßsignal differenziert werden muß,

8 Verdeutlichung des Beobachterprinzips,

9 Signallaßplan eines möglichen nichtlinearen Beobachteransatzes mit GRNN zur Nachbildung der Abhängigkeit der volumetrischen Effizienz vom Saugrohrdruck und der Drehzahl. Bei verstellbaren Ventilsteuerzeiten muß diese Abhängigkeit durch eine zusätzliche Eingangsdimension des GRNN berücksichtigt werden,

10 Ergebnis mit dem obenstehend beschriebenen lernfähigen Beobachteransatz ohne jedes Vorwissen, Ausschnitt, gestrichelt der Luftmassenstrom am Saugrohreingang, durchgezogen der Luftmassenstrom in die Zylinder und gepunktet der beobachtete Luftmassenstrom in die Zylinder. Gut zu erkennen ist das Einschwngen des Beobachters in jedem einzelnen Betriebspunkt in der Drehzahl-Saugrohrdruck-Phaseebene,

11 Verdeutlichung des Beobachterprinzips,

12 Ergebnis mit dem obenstehend Beobachteransatz, Auswertung allein auf der Basis bereits gelernten Wissens, keinerlei online-Adaption, Ausschnitt, gestrichelt der Luftmassenstrom am Saugrohreingang, durchgezogen der Luftmassenstrom in die Zylinder und gepunktet der beobachtete Luftmassenstrom in die Zylinder,

13 Das Neuronale Netz umfaßt interne Zustände (Dynamik  $H_X(s)$ ) zur Korrelation zwischen Schätzwert  $\hat{y}$  und Netzeingang.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung von Verbrennungsmotoren, dadurch gekennzeichnet, daß der von den Zylindern angesaugte Luftmassenstrom von einem in den folgenden Ansprüchen im einzelnen dargestellten Prozeßbeobachter derart berechnet wird, daß mit dem zuzuführenden Kraftstoff ein gewünschtes Mischungsverhältnis erreicht wird.

2. Verfahren zur Regelung von Verbrennungsmotoren, dadurch gekennzeichnet, daß zur Lastschätzung die zeitliche Änderung des Saugrohrdruckes verwendet wird.

3. Verfahren zur Regelung von Verbrennungsmotoren, dadurch gekennzeichnet, daß im Prozeßbeobachter die Massenbilanzgleichung (1) verwendet wird.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter den Saugrohrdruck differenziert (Gleichung 3, Fig. 2 bzw. Gleichung 4, Fig. 3), beispielsweise bei analoger Signalverarbeitung.

5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter die zeitliche Änderung der Größe Saugrohrdruck  $p$  verarbeitet, beispielsweise bei digitaler Signalverarbeitung.

6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2 oder 3,

dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter die zeitliche Änderung der Größe Saugrohrluft-Temperatur  $T$  verarbeitet.

7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2 oder 3 sowie 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter die Änderungen der Größen Saugrohrdruck  $p$  und Saugrohrluft-Temperatur  $T$  als Eingangsgrößen verarbeitet.

8. Verfahren nach den Ansprüchen 1—5 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter prinzipiell wie folgt arbeitet:

— der Saugrohrdruck  $p$  wird differenziert

— der mit dem Verhältnis  $\frac{V}{R}$  gewichtete Quotient aus differenziertem Saugrohrdruck und Saugrohrtemperatur wird von dem ins Saugrohr einströmenden Luftmassenstrom  $\dot{m}_{in}$  subtrahiert

— diese Differenz stellt den Schätzwert für den Luftmassenstrom in die Zylinder  $\hat{m}_{out}$  dar

— dieser Schätzwert für den Luftmassenstrom in die Zylinder  $\hat{m}_{out}$  wird über den Einlaßtakt der einzelnen Zylinder integriert und ergibt so die Luftmasse in den einzelnen Zylindern

Änderung der Signalverarbeitung mittels mathematischer Transformationen sind Bestandteil des Anspruchs.

9. Verfahren nach den Ansprüchen 1—7, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter prinzipiell wie folgt arbeitet:

— der Saugrohrdruck  $p$  wird differenziert

— der mit dem Verhältnis  $\frac{V}{R}$  gewichtete Quotient aus differenziertem Saugrohrdruck und Saugrohrtemperatur wird von dem ins Saugrohr einströmenden Luftmassenstrom  $\dot{m}_{in}$  subtrahiert

— ein aus den Meßgrößen  $T$ ,  $\dot{T}$  und  $p$  gebildeter Korrekturterm  $\dot{T} \frac{pV}{RT^2}$  wird addiert

— diese Summe stellt den Schätzwert für den Luftmassenstrom in die Zylinder  $\hat{m}_{out}$  dar

— dieser Schätzwert für den Luftmassenstrom in die Zylinder  $\hat{m}_{out}$  wird über den Einlaßtakt der einzelnen Zylinder integriert und ergibt so die Luftmasse in den einzelnen Zylindern

Änderung der Signalverarbeitung mittels mathematischer Transformationen sind Bestandteil des Anspruchs.

10. Verfahren nach den Ansprüchen 1—5 sowie 6 und 8 oder 7 und 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter Werte von verschiedenen Größen zu verschiedenen Zeitpunkten speichert oder zwischenspeichert um im Sinne einer look-up-tabel den Aufwand der Signalverarbeitung zu verringern (Bsp. Größen  $p$  und  $T$ ).

11. Verfahren nach den Ansprüchen 1—10, dadurch gekennzeichnet, daß charakteristische Größen wie  $V$  oder  $D$  zeitvariant sind.

12. Verfahren nach den Ansprüchen 1—11, dadurch gekennzeichnet, daß beispielsweise statt der Messung des Luftmassenstromes  $\dot{m}_{in}$  andere Größen wie zum Beispiel der Drosselklappenwinkel als Beobachtereingangsgrößen verwendet werden, um Aufwand zu sparen.

13. Verfahren nach den Ansprüchen 1—10, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter die Größen Luftmassenstrom in das Saugrohr  $\dot{m}_{in}$ ,



Saugrohrdruck  $p$  und Temperatur  $T$  im Saugrohr als gemessene oder geschätzte Größen verarbeitet.

14. Verfahren zur Regelung von Verbrennungsmotoren, dadurch gekennzeichnet, daß ausgehend von dem Drehzahl-Dicht-Verfahren und dem Massenflußverfahren ein Prozeßbeobachter, der in den folgenden Ansprüchen im einzelnen beschrieben ist, entworfen wird, um eine Schätzgröße für  $\dot{m}_{out}$  zu berechnen, daß mit dem zuzuführenden Kraftstoff ein gewünschtes Mischungsverhältnis erreicht wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter die Massenbilanzgleichung (1) beinhaltet.

16. Verfahren nach den Ansprüchen 14 und 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter den Saugrohrdruck nicht differenziert und die bekannte Theorie der Beobachter anwendet.

17. Verfahren nach den Ansprüchen 14–16, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter adaptiv realisiert wird, um beispielsweise den Fehler zwischen realem Saugrohrdruck  $p$  und dem beobachteten Schätzwert  $\hat{p}$  zu verringern.

18. Verfahren nach den Ansprüchen 14–17, dadurch gekennzeichnet, daß der Beobachter beispielsweise wie folgt angesetzt wird:

— die Realität "Saugrohr" wird im Beobachter als Parallelmodell dargestellt

— die reale Aufintegration der mit dem Faktor

$\frac{RT}{V}$  gewichteten Luftmassenstromdifferenz

wird durch ein Verzögerungsglied erster Ord-

nung  $\frac{1}{s + \lambda}$  nachgebildet, dessen Ausgang den

Verlauf des Saugrohrdruckes nachbildet

— durch die zusätzliche Aufschaltung des mit

dem durch den Faktor  $\frac{V}{RT} \lambda \frac{RT}{V}$  gewichteten

Saugrohrdruckes auf den Einganges dieses

Verzögerungsgliedes wird erreicht, daß das

Verzögerungsglied bei der Übereinstimmung

von geschätztem und realem Saugrohrdruck

das reale integrierende Verhalten nachbildet,

dies ist in Fig. 8 verdeutlicht

— der Fehler zwischen den Verläufen des rea-

len und geschätzten Saugrohrdruckes entsteht

durch die nicht übereinstimmenden Luftmas-

senstromdifferenzen, das heißt durch den nicht

korrekten Schätzwert für den in die Zylinder

strömenden Luftmassenstrom  $\dot{m}_{out}$ , da ja der

Eingangswert  $\dot{m}_{in}$  für Realität und Beobachter

gleich ist

— der in die Zylinder strömende Luftmassen-

strom  $\dot{m}_{out}$  hängt dabei nach der Beziehung 7

von Drehzahl und Dichte über die sogenannte

volumetrische Effizienz  $\eta_{vol}$  ab, deren arbeits-

punktabhängiger Einfluß im Beobachter durch

eine Multiplikation mit einem Integratoraus-

gang nachgebildet werden kann

— der Eingang dieses Integrators wird über

eine Lernschrittweite  $v$  mit dem Beobachter-

fehler zwischen realem und geschätztem Saug-

rohrdruck so beaufschlagt, daß die dadurch er-

folgende Adaption den Beobachterfehler zu

null macht (regelungstechnische Stabilität des

Beobachters)

— ist der Beobachterfehler zwischen realem

und geschätztem Saugrohrdruck null, so wirkt

das Verzögerungsglied durch die Beaufschlagung seines Einganges mit dem durch den Faktor  $\lambda \frac{R}{V} \frac{1}{T}$  gewichteten Saugrohrdruck wie ein

Integrator mit der Luftmassenstromdifferenz als einzigem Eingang, siehe dazu Fig. 8

— damit ist die Beobachterstruktur gleich der Realität, was bedeutet, daß bei übereinstimmender Streckenstruktur und übereinstimmenden Streckenausgängen (Saugrohrdruck und Schätzwert dafür) auch die Streckeneingänge (Differenz der Luftmassenströme) gleich sind

— da die Differenz der Luftmassenströme des Beobachters aus gemessenem  $\dot{m}_m$  und geschätztem  $\hat{\dot{m}}_{out}$  gebildet wird, ist der geschätzte Luftmassenstrom  $\hat{\dot{m}}_{out}$  somit gleich dem realen Luftmassenstrom in die Zylinder  $\dot{m}_{out}$

— der erhaltene Schätzwert für den Luftmassenstrom muß über die Zeit des Einlaßtaktes jeden einzelnen Zylinders integriert werden, um die Luftmasse in den jeweiligen Zylindern zu erhalten

— mögliche mathematische Transformationen sind Bestandteil des Anspruchs.

19. Verfahren nach den Ansprüchen 14–18, dadurch gekennzeichnet, daß an einem Arbeitspunkt die volumetrische Effizienz  $\eta_{vol}$  adaptiert wird, um nach der Beziehung 7 das gewünschte Ergebnis zu erhalten.

20. Verfahren nach Ansprüchen 14–19, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter Vorwissen, beispielsweise über  $\eta_{vol}$  grob als Kennfeld, nutzt, und dann zusätzlich eine multiplikativ oder additiv wirkenden Größe adaptiert.

21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter mehrere multiplikativ oder additiv wirkenden Größen adaptiert oder mehr Vorwissen als nur über  $\eta_{vol}$  benutzt.

22. Verfahren nach Ansprüchen 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Adaption des Prozeßbeobachters und damit die Angleichung der Beobachterstreckenstruktur an die Realität nach Fig. 8 anhand eines von der linearen Stabilitätstheorie abgeleiteten Verfahrens geschieht, indem beispielsweise das Zählerpolynom des Beobachterkreises mittels der Parameter  $\lambda$  und  $v$ , nach gewünschtem Beobachterverhalten stabil eingestellt werden.

23. Verfahren nach Ansprüchen 14 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Parameter  $\lambda$  und  $v$ , zeitvariant gestaltet werden, um in jedem Betriebspunkt beispielsweise in Abhängigkeit von  $n$  gewünschtes Verhalten des Beobachterkreises zu erzielen (beispielsweise mittels Kennfeld).

24. Verfahren nach Ansprüchen 14–21, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter mittels bekannter mathematischer Fehlermodelle oder der nichtlinearen Stabilitätstheorie adaptiv realisiert wird.

25. Verfahren nach Ansprüchen 14–24, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter bekanntes Vorwissen nutzt (z. B. die Größen  $\eta_{vol,or}$ ,  $\frac{D}{2RT}$ ,  $\frac{RT}{V}$  bzw.  $\frac{V}{RT}$  in Kennfeldern gespeichert).

26. Verfahren nach Ansprüchen 14–25, dadurch gekennzeichnet, daß für die Adaption des Prozeßbeobachters an die zeitvarianten oder zeitinvarianten Variablen bekannte Regressionsverfahren ge-



nutzt werden.

27. Verfahren nach den Ansprüchen 14–26, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter sowohl gemessene als auch geschätzte Größen verarbeitet.

28. Verfahren nach den Ansprüchen 14 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter sowohl gemessene als auch geschätzte Größen zu verschiedenen Zeitpunkten zwischenspeichert.

29. Verfahren nach den Ansprüchen 14–28, dadurch gekennzeichnet, daß das gelernte Wissen in bestimmten Arbeitspunkten abgespeichert wird, damit nicht verlernt wird, und dann als Vorwissen additiv oder multiplikativ verwendet wird (z. B.  $\eta_{vol}$  als Funktion von  $n$  und  $p$ ).

30. Verfahren nach den Ansprüchen 14–29, dadurch gekennzeichnet, daß bei Verwendung von Einrichtungen zur Erzielung variabler Saugrohrgeometrie, variabler Steuerzeiten oder Ventiltrieben anders als über Nockenwellen die volumetrische Effizienz noch eine zusätzliche Abhängigkeit als nur von  $p$  und  $n$  besitzt.

31. Verfahren zur Regelung von Verbrennungsmotoren, dadurch gekennzeichnet, daß das Drehzahl-Dicht-Verfahren mit dem Massenflußverfahren wie beschrieben zur Luftmassenstrombestimmung bzw. -regelung verwendet wird, indem der von den Zylindern angesaugte Luftmassenstrom von einem in den folgenden Ansprüchen im einzelnen dargestellten lernfähigen Prozeßbeobachtern derart berechnet wird, daß mit dem zuzuführenden Kraftstoff ein gewünschtes Mischungsverhältnis erreicht wird.

32. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß der Beobachter beispielsweise wie folgt angesetzt wird:

— die Realität "Saugrohr" wird im Beobachter als Parallelmodell dargestellt

— die reale Aufintegration der mit dem Faktor

$\frac{RT}{V}$  gewichteten Luftmassenstromdifferenz

wird durch ein Verzögerungsglied erster Ordnung  $\frac{1}{s + \lambda}$  nachgebildet, dessen Ausgang den

Verlauf des Saugrohrdruckes nachbildet

— durch die zusätzliche Aufschaltung des mit

dem durch den Faktor  $\frac{V}{RT} \lambda \frac{RT}{V}$  gewichteten

Saugrohrdruckes auf den Einganges dieses Verzögerungsgliedes wird erreicht, daß das Verzögerungsglied bei der Übereinstimmung von geschätztem und realem Saugrohrdruck das reale integrierende Verhalten nachbildet, dies ist in Fig. 8 verdeutlicht

— der Fehler zwischen den Verläufen des realen und geschätzten Saugrohrdruckes entsteht durch die nicht übereinstimmenden Luftmassenstromdifferenzen, das heißt durch den nicht korrekten Schätzwert für den in die Zylinder strömenden Luftmassenstrom  $\dot{m}_{out}$ , da ja der Eingangswert  $\dot{m}_{in}$  für Realität und Beobachter gleich ist

— der in die Zylinder strömende Luftmassenstrom  $\dot{m}_{out}$  hängt dabei nach der Beziehung 7 von Drehzahl und Dichte über die sogenannte volumetrische Effizienz  $\eta_{vol}$  ab, deren arbeitspunktabhängiger Einfluß im Beobachter durch eine Multiplikation mit dem Ausgang einer

Adaptionseinrichtung nachgebildet werden kann

— der Eingang dieser Adaptionseinrichtung wird über eine Lernschrittweite  $v$ , mit dem Beobachterfehler zwischen realem und geschätztem Saugrohrdruck so beaufschlagt, daß die dadurch erfolgende Adaption den Beobachterfehler zu null macht (regelungstechnische Stabilität des Beobachters)

— ist der Beobachterfehler zwischen realem und geschätztem Saugrohrdruck null, so wirkt das Verzögerungsglied durch die Beaufschlagung seines Einganges mit dem durch den Faktor

$\lambda \frac{R}{V} \frac{1}{T}$  gewichteten Saugrohrdruck wie ein

Integrator mit der Luftmassenstromdifferenz als einzigem Eingang, siehe dazu Fig. 8

— damit ist die Beobachterstruktur gleich der Realität, was bedeutet, daß bei übereinstimmender Streckenstruktur und übereinstimmenden Streckenausgängen (Saugrohrdruck und Schätzwert dafür) auch die Streckeneingänge (Differenz der Luftmassenströme) gleich sind

— da die Differenz der Luftmassenströme des Beobachters aus gemessenem  $\dot{m}_{in}$  und geschätztem  $\dot{m}_{out}$  gebildet wird, ist der geschätzte Luftmassenstrom  $\hat{\dot{m}}_{out}$  somit gleich dem realen Luftmassenstrom in die Zylinder  $\dot{m}_{out}$

— der erhaltene Schätzwert für den Luftmassenstrom muß über die Zeit des Einlaßtaktes jeden einzelnen Zylinders integriert werden, um die Luftmasse in den jeweiligen Zylindern zu erhalten

— mögliche mathematische Transformationen sind Bestandteil des Anspruchs.

33. Verfahren nach Ansprüchen 31 und 32, dadurch gekennzeichnet, daß für die Adaption des Prozeßbeobachters an die zeitvarianten Variablen Kennfelder als Adaptionseinrichtung verwendet werden, um deren Einflüsse zu berücksichtigen. Dies geschieht beispielsweise durch Verwendung einer diskreten Rasterung über dem Eingangsraum von  $p$  und  $n$  als Kennfeld für  $\eta_{vol}$ .

34. Verfahren nach den Ansprüchen 31 und 32, dadurch gekennzeichnet, daß für die Adaption des Prozeßbeobachters an die zeitvarianten Variablen bekannte Regressionsverfahren als Adaptionseinrichtung genutzt werden, um die Adaption zu erreichen. Dies geschieht beispielsweise durch einen mathematischen Funktionsansatz für  $\eta_{vol}$ , indem die Koeffizienten der Funktion nach einem Regressionsansatz verstellt werden.

35. Verfahren nach den Ansprüchen 31–33, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter dadurch lernfähig wird, daß Verfahren der Künstlichen Intelligenz als Adaptionseinrichtung genutzt werden.

36. Verfahren nach den Ansprüchen 31–34, dadurch gekennzeichnet, daß ein Neuronales Netz als Adaptionseinrichtung verwendet wird.

37. Verfahren nach den Ansprüchen 31–34, dadurch gekennzeichnet, daß Fuzzy-Logik als Adaptionseinrichtung verwendet wird.

38. Verfahren nach den Ansprüchen 31–34, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kombination aus Fuzzy-Logik und Neuronalen Verfahren (Neuro-Fuzzy) als Adaptionseinrichtung verwendet wird.

39. Verfahren nach den Ansprüchen 31—35, dadurch gekennzeichnet, daß als Neuronales Netz beispielsweise ein General Regression Neural Network als Adaptionseinrichtung verwendet wird.
40. Verfahren, dadurch gekennzeichnet, daß ein anderer Ansatz als in den Verfahren nach den Ansprüchen 34—38 zur Lernfähigmachung verwendet wird, beispielsweise indem auch spezielle mathematische oder hardwar-Komponenten in den Prozeßbeobachter einbezogen werden.
41. Verfahren nach dem Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter mittels bekannter mathematischer Fehlermodelle, wie in der Literatur beschrieben, adaptiv wird.
42. Verfahren nach den Ansprüchen 31 und 35, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter ein Neuronales Netz nutzt, entsprechend der Fig. 8 realisiert ist und das grundsätzlich in AZ: 195 31 9624 beschriebene Verfahren anwendet.
43. Verfahren nach den Ansprüchen 31 und 35, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter ein mathematisches Fehlermodell, wie in AZ: 195 31 9624 beschrieben, nutzt, um stabiles Lernen zu erreichen.
44. Verfahren nach den Ansprüchen 31 und 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Stabilität des Lernens mittels Ljapunov-Theorie gewährleistet wird.
45. Verfahren nach den Ansprüchen 1, 14 und 31, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter während der gesamten Betriebsdauer des Verbrennungsmotors alle Variablen als zeitvariant ansieht und alle Variablen bei dem Lernprozeß berücksichtigt.
46. Verfahren nach den Ansprüchen 1, 14 und 31, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter nur den Teil der Variablen beim Lernen berücksichtigt, der sich infolge seiner Zeitvarianz auf den Prozeß auswirkt.
47. Verfahren nach den Ansprüchen 1, 14 und 31, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozeßbeobachter die nur sehr langsamen zeitvarianten Variablen nur in begrenzten Zeiträumen und in vorgebbaren Abständen nachlernt und in Kennfeldern dieses Wissen speichert.
48. Verfahren nach den Ansprüchen 1, 14 und 31, dadurch gekennzeichnet, daß das gelernte Wissen bzw. der Schätzwert des Prozeßbeobachters für die Kraftstoffzumessung berücksichtigt wird.
49. Verfahren nach den Ansprüchen 14 und 31, dadurch gekennzeichnet, daß zur Vereinfachung der Realisierung das "gelernte Wissen" in Kennfelder gespeichert wird sowie daß in vorgebbaren zeitlichen Abständen mittels der beschriebenen Verfahren eine Auffrischung der Kennfelder erfolgt.
50. Verfahren nach den Ansprüchen 1—49, dadurch gekennzeichnet, daß die volumetrische Effizienz von mehreren Größen als nur vom Saugrohrdruck und der Drehzahl abhängt; dies gilt beispielsweise bei dem Verfahren VANOS oder wenn ein anderer Ventiltrieb als über die Nockenwelle erfolgt.
51. Verfahren nach den Ansprüchen 1—49, dadurch gekennzeichnet, daß die volumetrische Effizienz von den Größen Saugrohrdruck, Drehzahl und Ventilöffnungszeiten bestimmt wird (VANOS, anderer Ventiltrieb als über eine Nockenwelle, Schaltsaugrohr).
52. Verfahren nach den Ansprüchen 1—50, dadurch

- gekennzeichnet, daß das Verfahren auf beliebige Vorrichtungen angewendet wird, bei der ein Luftmassenstrom infolge des Speicherhaltens eines endlichen Volumens mit vertretbarem Aufwand nicht gemessen werden kann.
53. Verfahren nach den Ansprüchen 1—49, dadurch gekennzeichnet, daß statt der Lastschätzung des Luftmassenstroms eine Schätzung der Störgrößen bei der Drosselklappe erfolgt.
54. Verfahren nach den Ansprüchen 1—49, dadurch gekennzeichnet, daß statt der Lastschätzung des Luftmassenstroms eine Schätzung der Störgrößen beim elektromagnetischen Ventiltrieb erfolgt.
55. Verfahren nach den Ansprüchen 1—49, dadurch gekennzeichnet, daß statt der Lastschätzung des Luftmassenstroms eine Schätzung der Störgrößen bei einem automatisiert zu schaltendem Getriebe erfolgt.
56. Verfahren nach den Ansprüchen 1—49, dadurch gekennzeichnet, daß statt der Lastschätzung des Luftmassenstroms eine Schätzung der in den Zylindern befindlichen Kraftstoffmenge erfolgt.
57. Verfahren nach den Ansprüchen 1—49, dadurch gekennzeichnet, daß eine Schätzung einer Größe geschieht, die in linearer oder nichtlinearer Weise von einem oder mehreren Prozeßzuständen abhängt.
58. Verfahren nach den Ansprüchen 1—49, dadurch gekennzeichnet, daß statt der Schätzung mehrere Größen geschieht, die in linearer oder nichtlinearer Weise von einem oder mehreren Prozeßzuständen innerhalb eines Prozesses abhängen.
59. Verfahren nach den Ansprüchen 14 bis 52, dadurch gekennzeichnet, daß die zeitliche Ableitung der Saugrohrtemperatur nicht vernachlässigt wird.
60. Verfahren nach den Ansprüchen 1—59, dadurch gekennzeichnet, daß zu Korrelation des Beobachterfehlersignals mit den diesen Fehler verursachenden Eingangsgrößen des Neuronalen Netzes innerhalb des Neuronalen Netzes zusätzliche Zustände neben den Gewichtsintegratoren verwendet werden. Dies geschieht, um die ohne diese zusätzlichen internen Zustände des Neuronalen Netzes zur Adaption der Gewichte gültige SPR-Bedingung zwischen Netzeingang und Beobachterfehler aufzuheben.
61. Verfahren nach Anspruch 60, dadurch gekennzeichnet, daß zu Korrelation des Beobachterfehlersignals mit den diesen Fehler verursachenden Eingangsgrößen des Neuronalen Netzes die zusätzlichen Zustände zwischen Anregung und Gewichtung der einzelnen Neuronen eingefügt werden.
62. Verfahren nach Anspruch 61, dadurch gekennzeichnet, daß zu Korrelation des Beobachterfehlersignals mit den diesen Fehler verursachenden Eingangsgrößen eines General Regression Neural Network die zusätzlichen Zustände zwischen Anregung und Gewichtung der einzelnen Neuronen eingefügt werden, wie in Fig. 13 verdeutlicht. Dieser Signalflußplan zeigt dabei im unteren Zweig die durch einen Beobachteransatz zu erzielende Transformation des Identifikationsproblems ( $f(\cdot)$  unbekannt) auf die Kettenanordnung bekannter Dynamik  $H_1(s)$ , unbekannter statischer Zusammenhang  $f(\cdot)$  (auch mehrdimensional) und bekannte Dynamik  $H_2(s)$ . Im oberen Zweig dargestellt ist die Struktur eines General Regression Neural Networks mit Anregung  $W(\cdot)$  und Gewichten  $\Theta$  und den sich da-

zwischen befindlichen Zuständen in der Dynamik  $H_2(s)$ . Siehe hierzu AZ: 195 31 3624.

63. Verfahren nach Anspruch 62, dadurch gekennzeichnet, daß zu Korrelation des Beobachterfehlersignals mit den diesen Fehler verursachenden Eingangsgrößen eines Neuronalen Netzes zusätzliche Zustände zwischen Anregung und Gewichtung der einzelnen Neuronen solchermaßen eingefügt werden, daß mit Zuständen nach dem Ausgang des Neuronalen Netzes die gewünschte Korrelation erreicht wird.

#### — VORRICHTUNGEN

64. Vorrichtung zur Regelung von Verbrennungsmotoren mit je einem Sensor zur Luftmassenstrommessung, zur Saugrohrtemperaturmessung und zur Saugrohrdruckmessung, dadurch gekennzeichnet, daß ein Rechner mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 13 die Kraftstoffzufuhr eines Verbrennungsmotors derart steuert, daß ein vorgebbares Mischungsverhältnis Kraftstoff/Luft erreicht wird.

65. Vorrichtung zur Regelung von Verbrennungsmotoren mit Sensoren zur Luftmassenstrommessung, zur Saugrohrtemperaturmessung, zur Saugrohrdruckmessung und zur Messung anderer Größen, dadurch gekennzeichnet, daß ein Rechner mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 13 die Kraftstoffzufuhr eines Verbrennungsmotors derart steuert, daß ein vorgebbares Mischungsverhältnis Kraftstoff/Luft erreicht wird.

66. Vorrichtung zur Regelung von Verbrennungseinrichtungen mit je einem Sensor zur Luftmassenstrommessung, zur Saugrohrtemperaturmessung und zur Saugrohrdruckmessung, dadurch gekennzeichnet, daß ein Rechner mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 13 die Kraftstoffzufuhr einer Verbrennungseinrichtung derart steuert, daß ein vorgebbares Mischungsverhältnis Brennstoff/Luft erreicht wird.

67. Vorrichtung zur Regelung von Verbrennungseinrichtungen mit Sensoren zur Luftmassenstrommessung, zur Saugrohrtemperaturmessung, zur Saugrohrdruckmessung und zur Messung anderer Größen, dadurch gekennzeichnet, daß ein Rechner mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 13 die Kraftstoffzufuhr einer Verbrennungseinrichtung derart steuert, daß ein vorgebbares Mischungsverhältnis Brennstoff/Luft erreicht wird.

68. Vorrichtung zur Regelung von Verbrennungsmotoren mit je einem Sensor zur Luftmassenstrommessung, zur Saugrohrtemperaturmessung und zur Saugrohrdruckmessung, dadurch gekennzeichnet, daß ein Rechner mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 14 bis 30 die Kraftstoffzufuhr eines Verbrennungsmotors derart steuert, daß ein vorgebbares Mischungsverhältnis Kraftstoff/Luft erreicht wird.

69. Vorrichtung zur Regelung von Verbrennungsmotoren mit Sensoren zur Luftmassenstrommessung, zur Saugrohrtemperaturmessung, zur Saugrohrdruckmessung und zur Messung anderer Größen, dadurch gekennzeichnet, daß ein Rechner mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 14 bis 30 die Kraftstoffzufuhr eines Verbrennungsmotors derart steuert, daß ein vorgebbares Mischungsverhältnis Kraftstoff/Luft erreicht wird.

70. Vorrichtung zur Regelung von Verbrennungseinrichtungen mit je einem Sensor zur Luftmassen-

strommessung, zur Saugrohrtemperaturmessung und zur Saugrohrdruckmessung, dadurch gekennzeichnet, daß ein Rechner mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 14 bis 30 die Kraftstoffzufuhr einer Verbrennungseinrichtung derart steuert, daß ein vorgebbares Mischungsverhältnis Brennstoff/Luft erreicht wird.

71. Vorrichtung zur Regelung von Verbrennungseinrichtungen mit Sensoren zur Luftmassenstrommessung, zur Saugrohrtemperaturmessung, zur Saugrohrdruckmessung und zur Messung anderer Größen, dadurch gekennzeichnet, daß ein Rechner mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 14 bis 30 die Kraftstoffzufuhr einer Verbrennungseinrichtung derart steuert, daß ein vorgebbares Mischungsverhältnis Brennstoff/Luft erreicht wird.

72. Vorrichtung zur Regelung von Verbrennungsmotoren mit je einem Sensor zur Luftmassenstrommessung, zur Saugrohrtemperaturmessung und zur Saugrohrdruckmessung, dadurch gekennzeichnet, daß ein Rechner mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 31 bis 49 die Kraftstoffzufuhr eines Verbrennungsmotors derart steuert, daß ein vorgebbares Mischungsverhältnis Kraftstoff/Luft erreicht wird.

73. Vorrichtung zur Regelung von Verbrennungsmotoren mit Sensoren zur Luftmassenstrommessung, zur Saugrohrtemperaturmessung, zur Saugrohrdruckmessung und zur Messung anderer Größen, dadurch gekennzeichnet, daß ein Rechner mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 31 bis 49 die Kraftstoffzufuhr eines Verbrennungsmotors derart steuert, daß ein vorgebbares Mischungsverhältnis Kraftstoff/Luft erreicht wird.

74. Vorrichtung zur Regelung von Verbrennungseinrichtungen mit je einem Sensor zur Luftmassenstrommessung, zur Saugrohrtemperaturmessung und zur Saugrohrdruckmessung, dadurch gekennzeichnet, daß ein Rechner mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 31 bis 49 die Kraftstoffzufuhr einer Verbrennungseinrichtung derart steuert, daß ein vorgebbares Mischungsverhältnis Brennstoff/Luft erreicht wird.

75. Vorrichtung zur Regelung von Verbrennungseinrichtungen mit Sensoren zur Luftmassenstrommessung, zur Saugrohrtemperaturmessung, zur Saugrohrdruckmessung und zur Messung anderer Größen, dadurch gekennzeichnet, daß ein Rechner mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 31 bis 49 die Kraftstoffzufuhr einer Verbrennungseinrichtung derart steuert, daß ein vorgebbares Mischungsverhältnis Brennstoff/Luft erreicht wird.

76. Vorrichtung zur Regelung von Verbrennungsmotoren mit Sensoren zur Luftmassenstrommessung, zur Saugrohrtemperaturmessung, zur Saugrohrdruckmessung und zur Messung anderer Größen, dadurch gekennzeichnet, daß ein Rechner mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 31 bis 49 unter Anwendung von Verfahren nach Ansprüchen 57 bis 63 die Kraftstoffzufuhr eines Verbrennungsmotors derart steuert, daß ein vorgebbares Mischungsverhältnis Kraftstoff/Luft erreicht wird.

77. Vorrichtung zur Regelung von Verbrennungseinrichtungen mit je einem Sensor zur Luftmassenstrommessung, zur Saugrohrtemperaturmessung und zur Saugrohrdruckmessung, dadurch gekennzeichnet, daß ein Rechner mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 31 bis 49 unter Anwendung

von Verfahren nach Ansprüchen 57 bis 63 die Kraftstoffzufuhr einer Verbrennungseinrichtung derart steuert, daß ein vorgebbares Mischungsverhältnis Brennstoff/Luft erreicht wird.

78. Vorrichtung zur Regelung eines Prozesses, dadurch gekennzeichnet, daß ein möglicher Prozeßbeobachter nach den Ansprüchen 57 bis 63 dazu benutzt wird, eine Störgröße zu schätzen bzw. deren Abhängigkeit von Prozeßzuständen zu erlernen.

79. Vorrichtungen nach den Ansprüchen 64 bis 78, die mit einem digitalen Rechenwerk die Verfahren nach Ansprüchen 1 bis 63 realisieren.

80. Vorrichtungen nach den Ansprüchen 64 bis 78, die mit einem analogen Rechenwerk die Verfahren nach Ansprüchen 1 bis 63 realisieren.

81. Vorrichtungen nach den Ansprüchen 64 bis 78, die mit einem hybriden Rechenwerk (analog und digital) die Verfahren nach Ansprüchen 1 bis 63 realisieren.

---

Hierzu 12 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

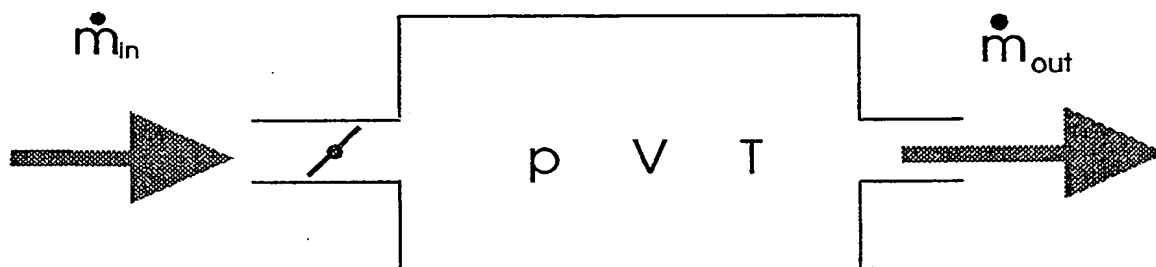
45

50

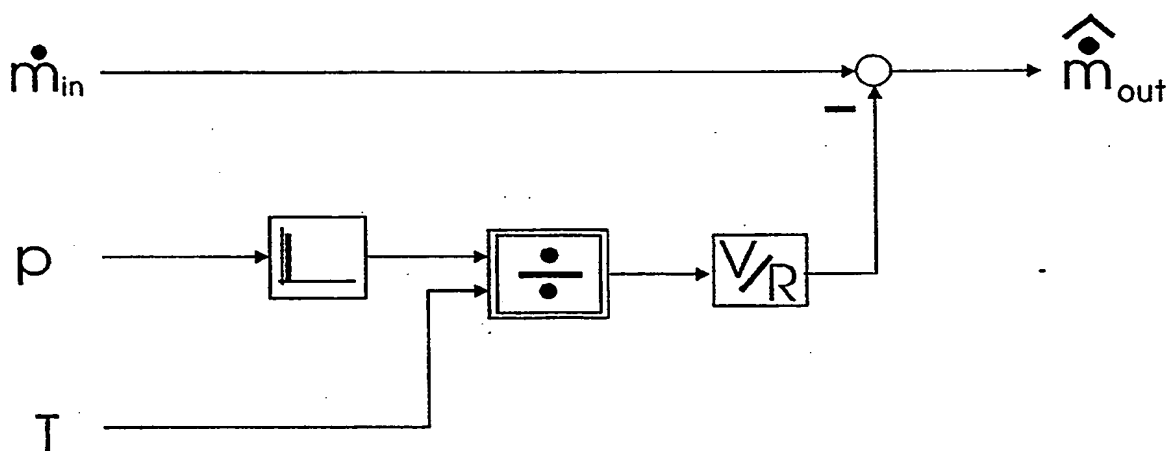
55

60

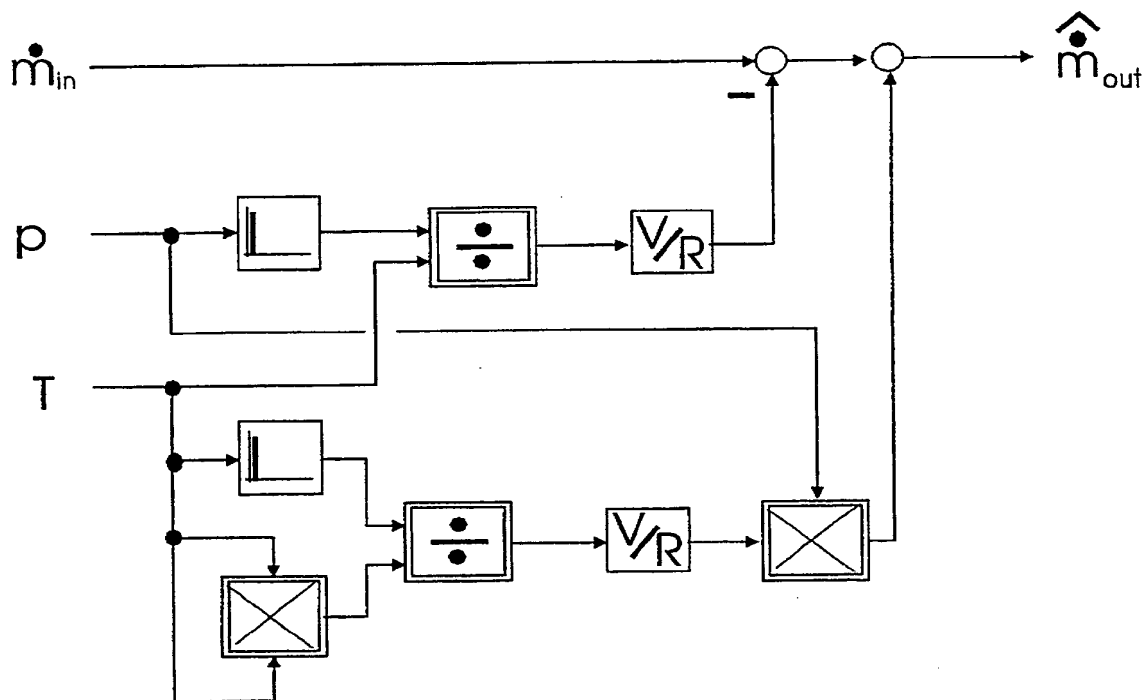
65



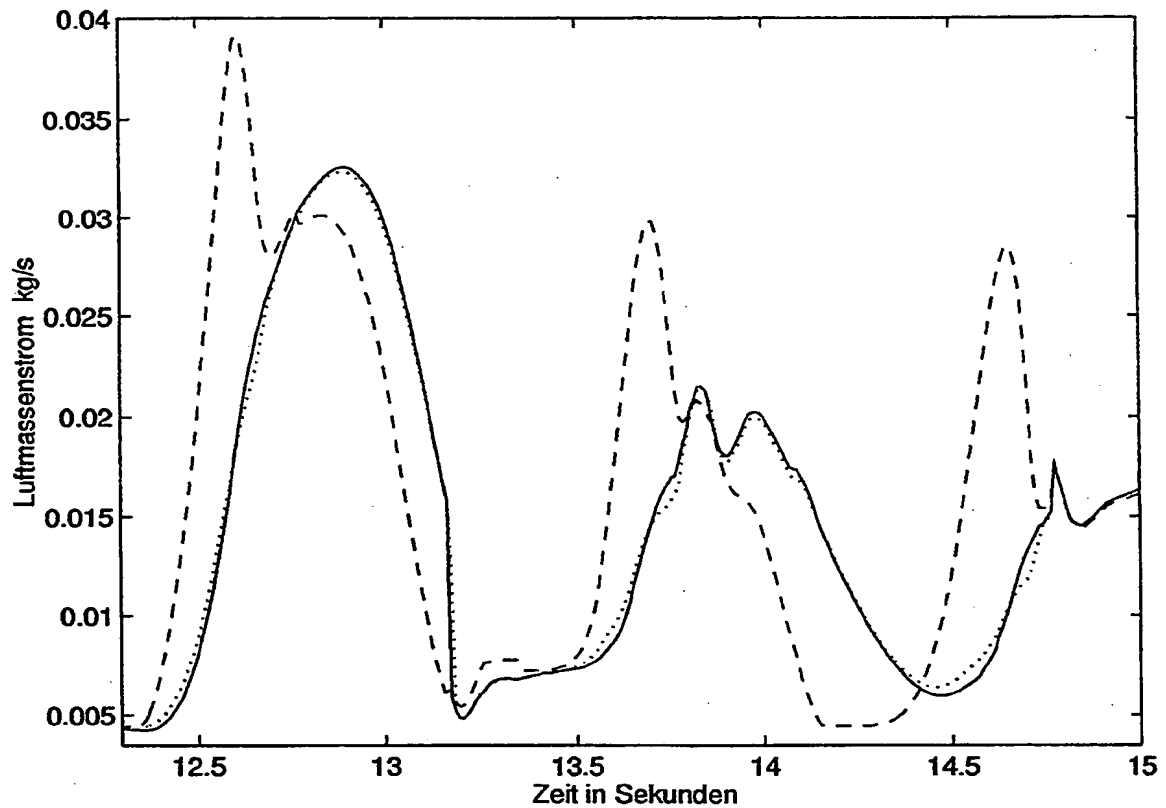
Figur 1: Schematische Darstellung des Saugrohrs eines Ottomotors



Figur 2: Darstellung des ersten beschriebenen Ansatzes zur Schätzung des Luftmassenstromes in die Zylinder im Signalflußplan. Benötigt wird die Zeitableitung des Saugrohrdruckes  $p$ .

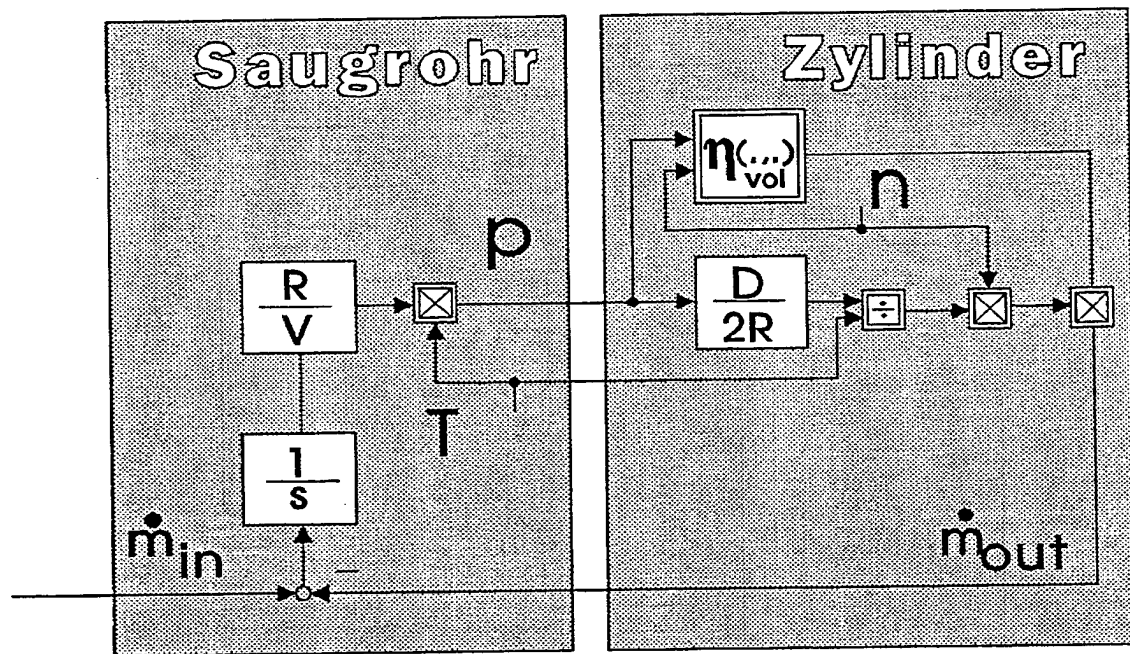


Figur 3: Darstellung des ersten beschriebenen Ansatzes zur Schätzung des Luftmassenstromes in die Zylinder mit Berücksichtigung der Zeitableitung der Saugrohrtemperatur.

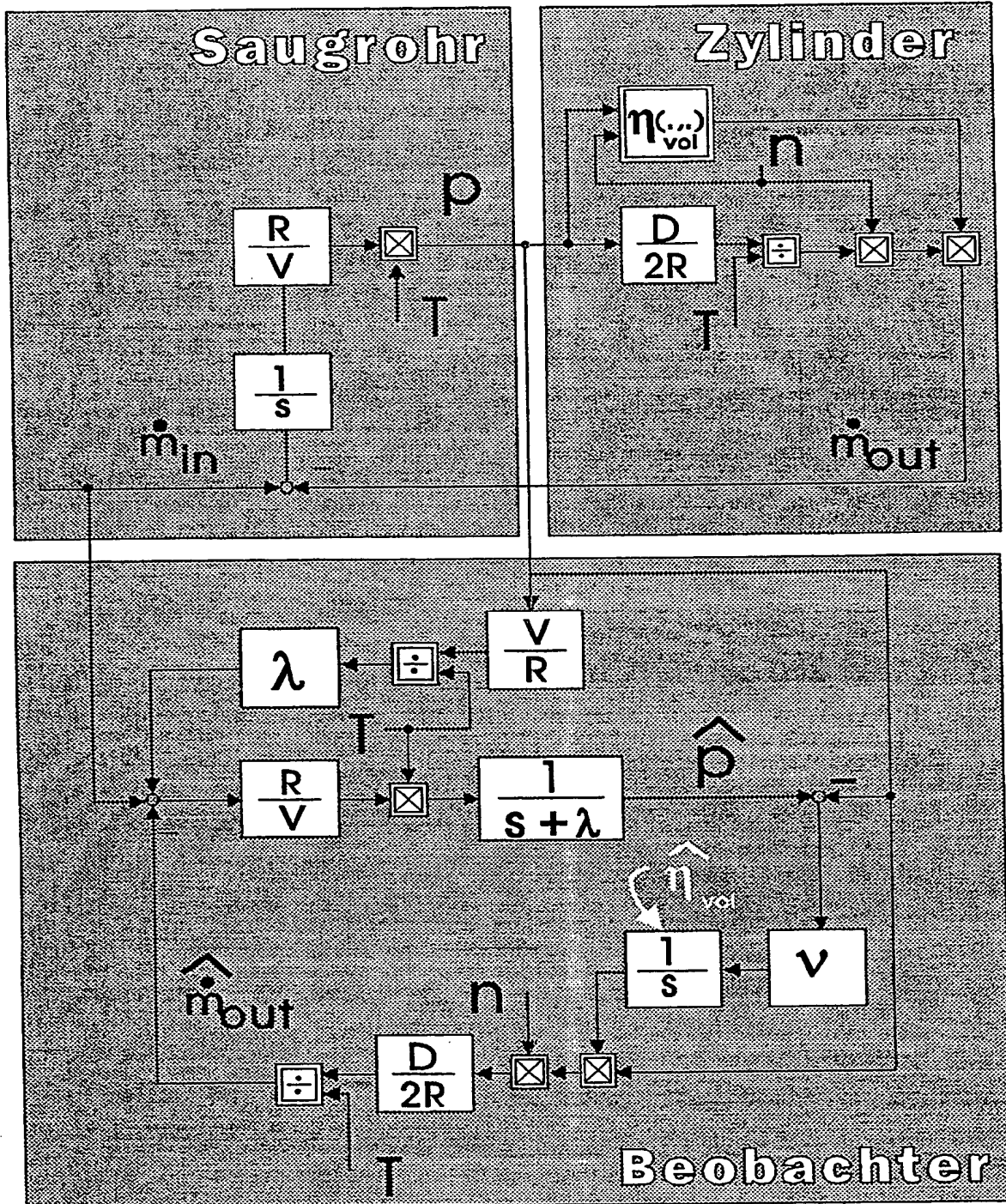


Figur 4: Ergebnis mit dem obenstehend beschriebenen Differenzieransatz, Ausschnitt, gestrichelt der Luftmassenstrom am Saugrohreingang, durchgezogen der Luftmassenstrom in die Zylinder und gepunktet der beobachtete Luftmassenstrom in die Zylinder

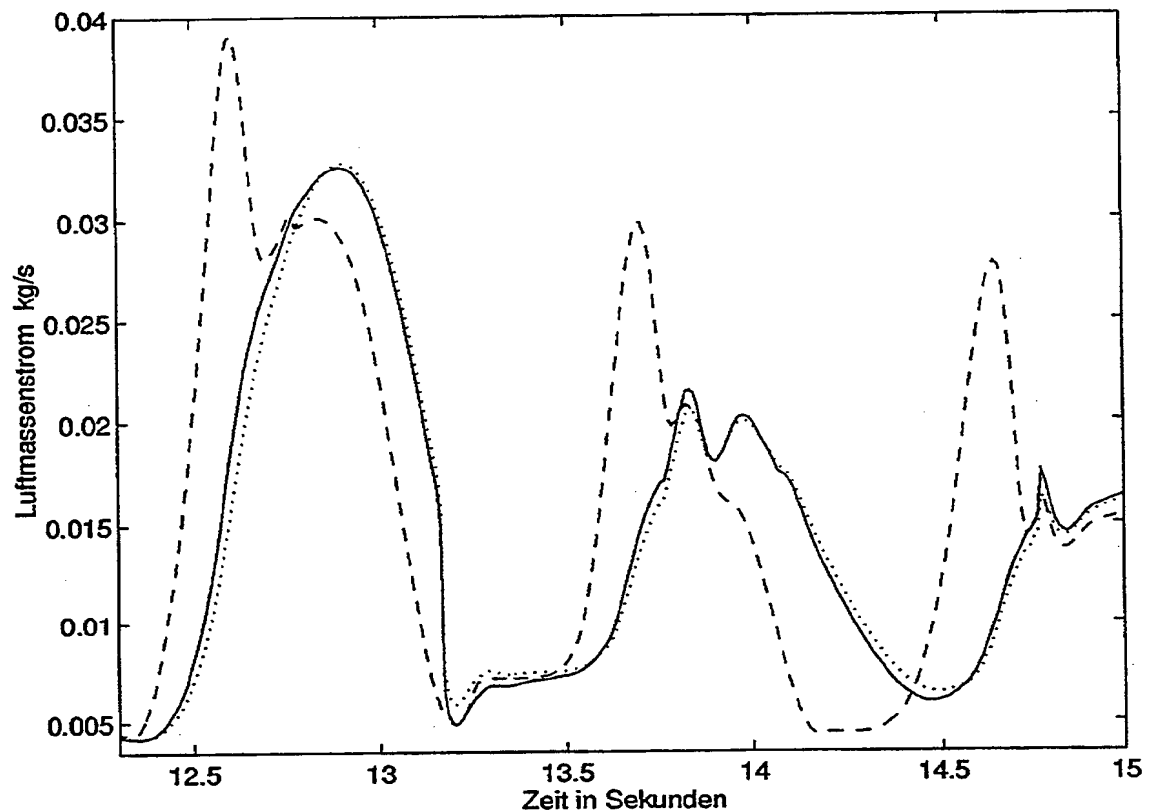




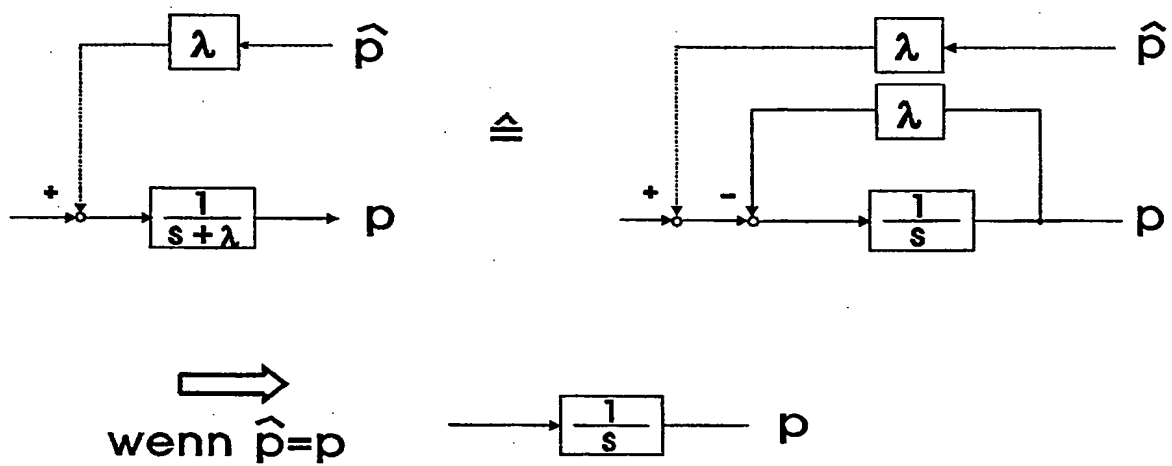
Figur 5: Signalflußplan des Luftpfades im Frequenzbereich mit Saugrohr und Zylindern



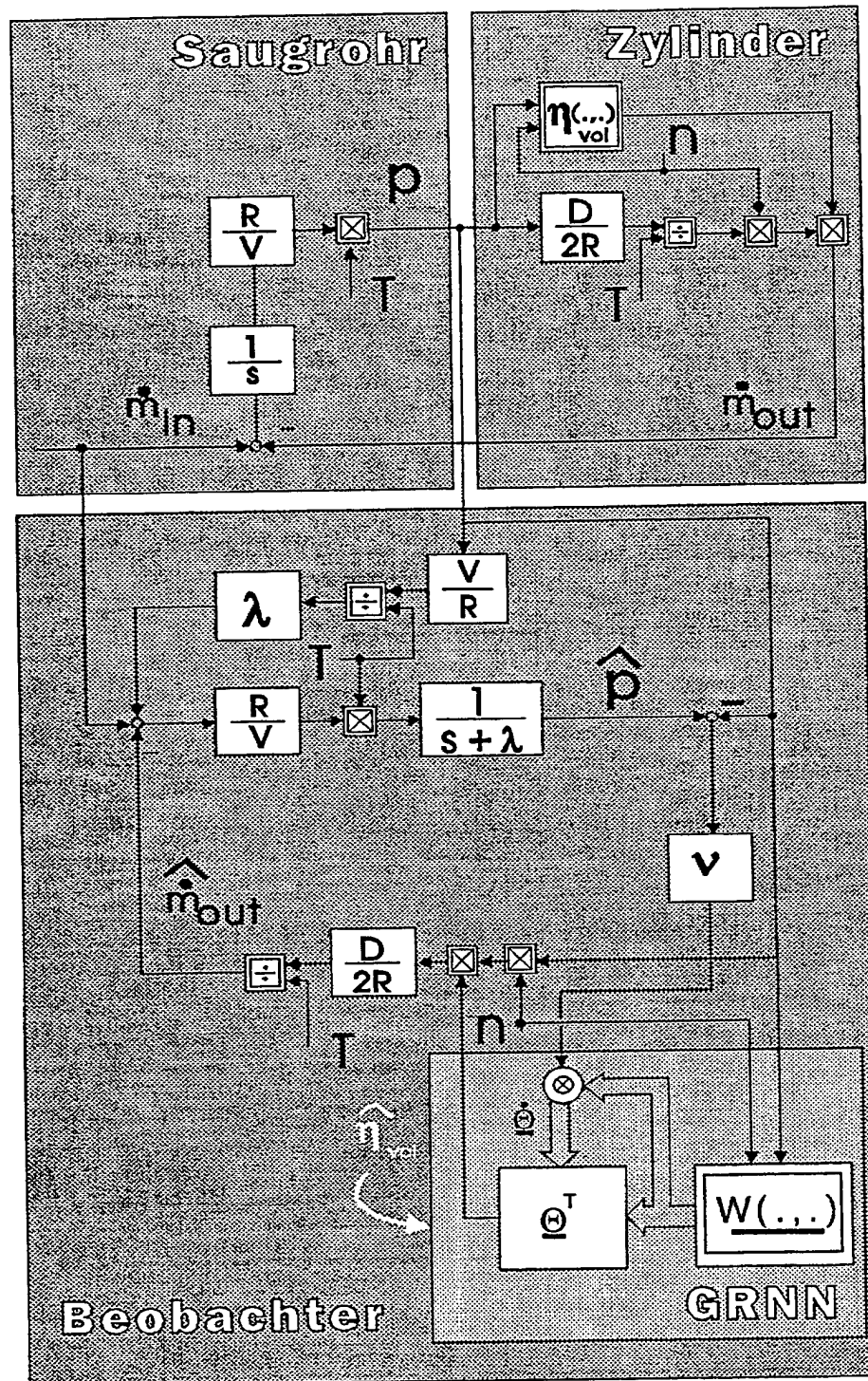
Figur 6: Signalflußplan eines möglichen nichtlinearen Beobachteransatzes zur Lastschätzung. Der unbekannte Parameter  $\eta_{vol}$ , abhängig von Saugrohrdruck und Drehzahl, wird in allen Arbeitspunkten des Motors durch einen einzigen Integrator nachgebildet. Durch die Parameter  $\lambda$  und  $v$  im Beobachterkreis läßt sich die Beobachtdynamik einstellen.



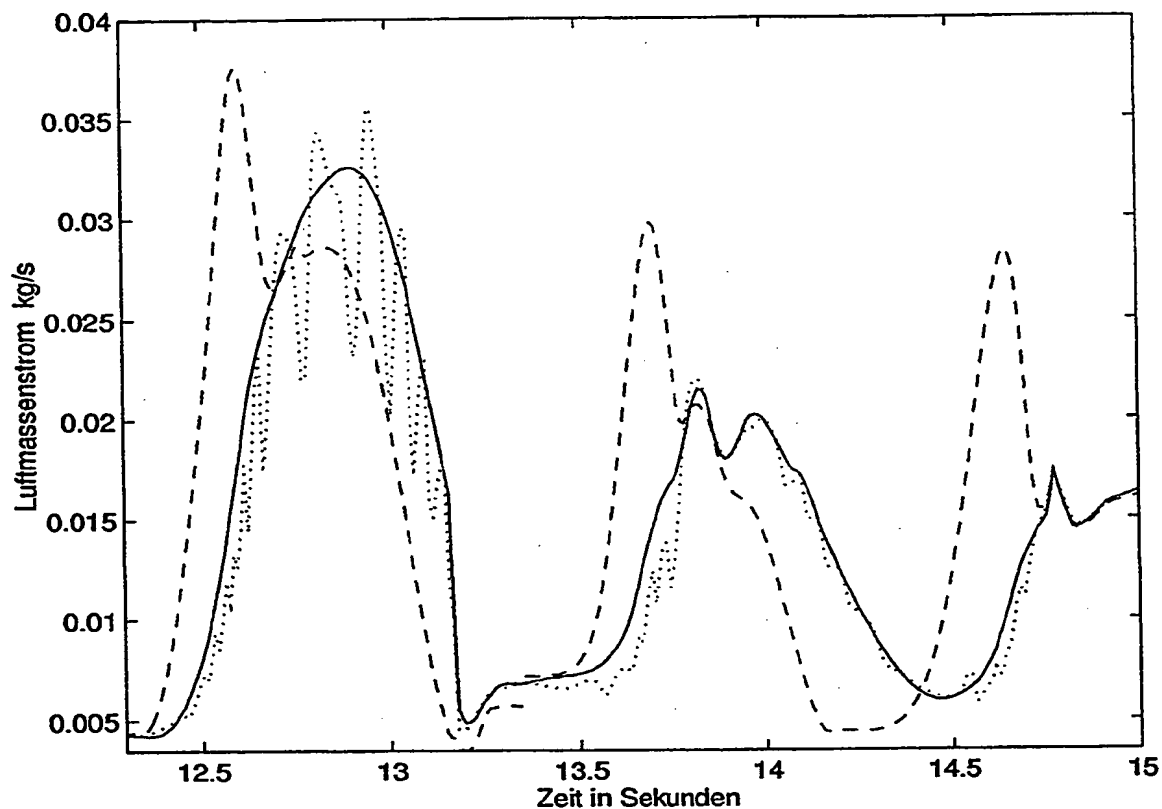
Figur 7: Ergebnis mit dem obenstehend beschriebenen einfachen Beobachteransatz, Ausschnitt, gestrichelt der Luftmassenstrom am Saugrohreingang, durchgezogen der Luftmassenstrom in die Zylinder und gepunktet der beobachtete Luftmassenstrom in die Zylinder. Auch hier sind die durchgezogene und gepunktete Linie beinahe deckungsgleich, also erfolgt eine korrekte Schätzung. Vorteilhaft bei diesem Ansatz im Vergleich zum vorstehenden Ansatz ist, daß kein Meßsignal differenziert werden muß.



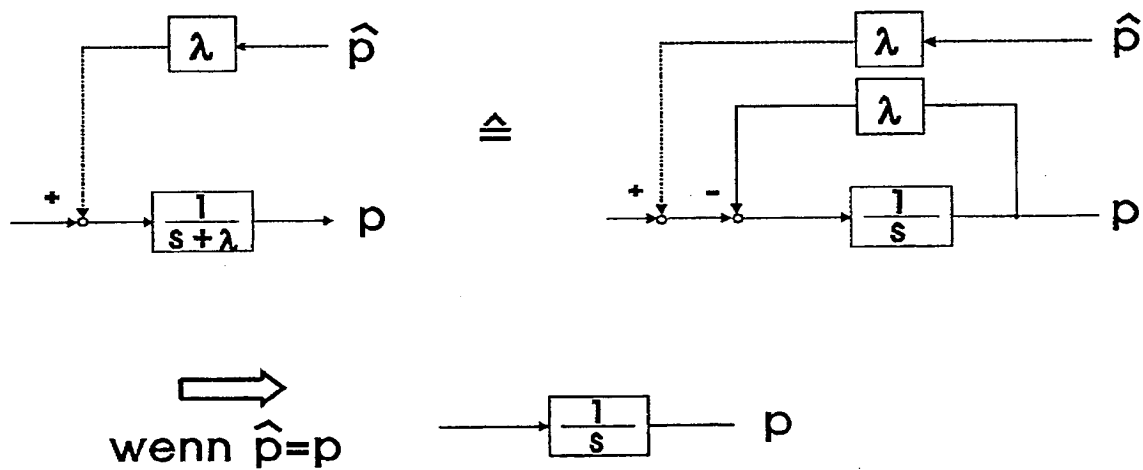
Figur 8: Verdeutlichung des Beobachterprinzips.



Figur 9: *Signalflußplan eines möglichen nichtlinearen Beobachteransatzes mit GRNN zur Nachbildung der Abhängigkeit der volumetrischen Effizienz vom Saugrohrdruck und der Drehzahl. Bei verstellbaren Ventilsteuerzeiten muß diese Abhängigkeit durch eine zusätzliche Eingangsdimension des GRNN berücksichtigt werden.*

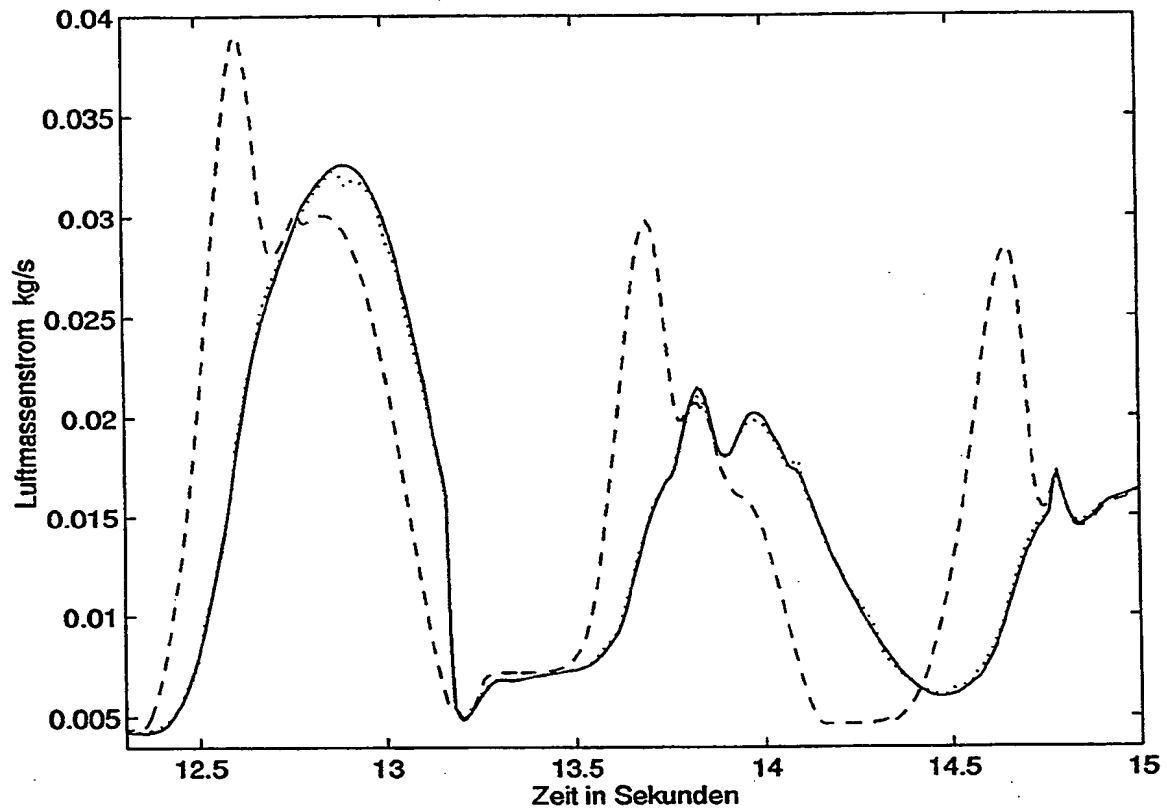


Figur 10: Ergebnis mit dem obenstehend beschriebenen lernfähigen Beobachteransatz ohne jedes Vorwissen, Ausschnitt, gestrichelt der Luftmassenstrom am Saugrohrreinigung, durchgezogen der Luftmassenstrom in die Zylinder und gepunktet der beobachtete Luftmassenstrom in die Zylinder. Gut zu erkennen ist das Einschwingen des Beobachters in jedem einzelnen Betriebspunkt in der Drehzahl-Saugrohrdruck-Phasenebene.

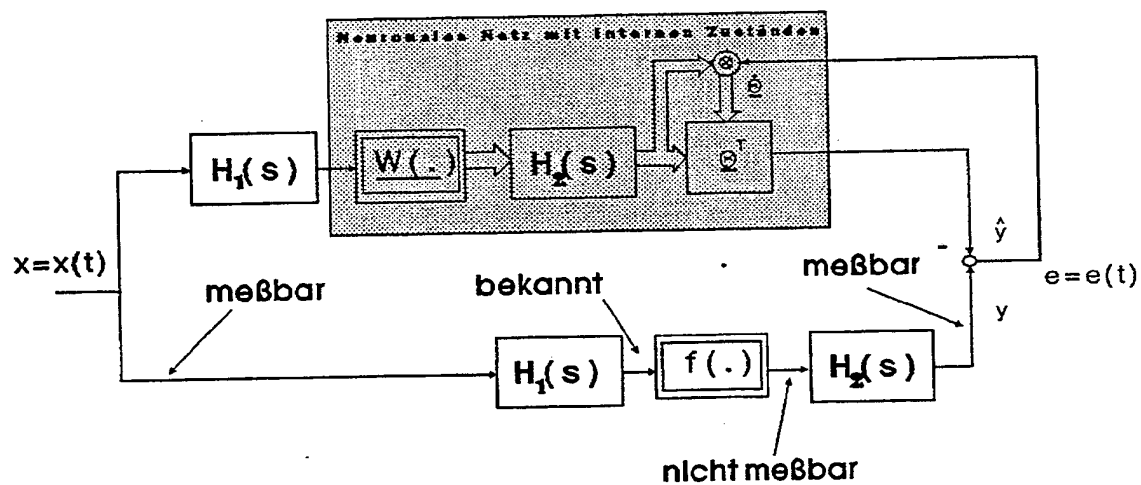


Figur 11: Verdeutlichung des Beobachterprinzips.





Figur 12: Ergebnis mit dem obenstehend Beobachteransatz, Auswertung allein auf der Basis bereits gelernten Wissens, keinerlei online-Adaption, Ausschnitt, gestrichelt der Luftmassenstrom am Saugrohreingang, durchgezogen der Luftmassenstrom in die Zylinder und gepunktet der beobachtete Luftmassenstrom in die Zylinder



Figur 13: Das Neuronale Netz umfaßt interne Zustände (Dynamik  $H_2(s)$ ) zur Korrelation zwischen Schätzwert  $\hat{y}$  und Netzeingang.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**